



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Escuela Académico Profesional de Farmacia y Bioquímica

**Determinación de las concentraciones de cadmio y
plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las
cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico

AUTORES

Ruth Nohelia LUNA ARENAS
Víctor Alejandro RODRÍGUEZ LOZADA

ASESOR

Jesús Víctor LIZANO GUTIÉRREZ

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Luna R, Rodríguez V. Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Escuela Académico Profesional de Farmacia y Bioquímica; 2016.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

**“Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa
(*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y
Chonta – Cajamarca”**

Que presentan los Bachilleres en Farmacia y Bioquímica:


RUTH NOHELIA LUNA ARENAS y
VÍCTOR ALEJANDRO RODRÍGUEZ LOZADA

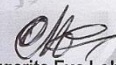
Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la **SUSTENTACIÓN** de la **TESIS**, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado, y practicada la votación han obtenido la siguiente calificación:

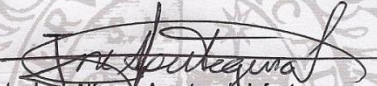
S O B R E S A L I E N T E 17

en conformidad con el Art. 34.º del Reglamento para la obtención del Grado Académico de Bachiller en Farmacia y Bioquímica y Título Profesional de Químico Farmacéutico de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Lima, 12 de febrero del 2016


Dr. Pablo Enrique Bonilla Rivera
Presidente


Mgtr. Margarita Eva Lobatón Erazo
Miembro


Mgtr. José Alfonso Apesteguía Infantes
Miembro


Mgtr. Carmen Rosa Arana Avila
Miembro

“FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO”

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú
Telfs.: (511) 328-4737 / 328-4739 Fax: (511) 619-7000 anexo 4819 Ap. Postal 4559 - Lima 1
E-mail: decanofyb@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>

ISO 9001

BUREAU VERITAS
Certification

N° BR233265



*Agradezco a Dios por iluminar mi camino y bendecirme
con las dos personas que más amo en este mundo, mis padres.*

*A ellos, Hipólito y Elsa, les doy las infinitas gracias
por estar siempre a mi lado, por sus sacrificios y apoyo
en los momentos más difíciles; por ellos estoy aquí. Gracias.*

Ruth Luna Arenas.

*A mis padres, por su amor y apoyo incondicional,
por enseñarme a perseguir mis metas y vencer los obstáculos.*

*A mis hermanos, por darme la fuerza y
cariño necesario para seguir adelante.*

A Dios, por guiar mis pasos.

Víctor Rodríguez Lozada

AGRADECIMIENTOS

Nuestro mayor agradecimiento a nuestro querido asesor:

Q. F. Tox. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez

Por brindarnos siempre su apoyo incondicional y sus apreciados aportes, comentarios y sugerencias para la realización de nuestra tesis.

A los Señores miembros del Jurado Examinador y Calificador:

Presidente: Dr. Pablo Enrique Bonilla Rivera

Mg. Margarita Eva Lobatón Erazo

Mg. Carmen Rosa Arana Ávila

Mg. José Alfonso Apesteguía Infantes

Por otorgar su tiempo y evaluar este trabajo, otorgando valiosas sugerencias, que contribuyeron al mejoramiento de esta tesis.

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|-------------|
| RESÚMEN | |
| SUMMARY | |
| INTRODUCCIÓN | 1-2 |
| HIPÓTESIS | 3 |
| OBJETIVOS | 3 |
| I. GENERALIDADES | 4 |
| 1.1 Antecedentes..... | 4 |
| 1.1.1 Estudios anteriores..... | 5 |
| 1.2 Descripción del área de estudio..... | 6 |
| 1.2.1 Localización..... | 6 |
| 1.2.2 Población..... | 10 |
| 1.2.3 Aspectos geográficos..... | 10 |
| 1.3 Papas..... | 12 |
| 1.3.1 Origen..... | 12 |
| 1.3.2 Taxonomía..... | 12 |
| 1.3.3 Descripción de las papas..... | 13 |
| 1.3.4 Composición química de la papa..... | 15 |
| 1.3.5 Condiciones agroclimáticas del cultivo..... | 15 |
| 1.3.6 Cosecha..... | 16 |
| 1.3.7 Producción y consumo..... | 17 |
| 1.3.8 Fuentes que influyen en la contaminación de la papa..... | 20 |
| 1.3.9 Factores que influyen en la contaminación de la papa..... | 21 |
| 1.3.10 Interacción de los metales con la papa..... | 23 |
| 1.3.10.1 Interacción del cadmio con la papa..... | 23 |
| 1.3.10.2 Interacción del plomo con la papa..... | 24 |
| 1.3.11 Valores máximos permisibles de cadmio y plomo..... | 26 |
| 1.4 Metales pesados..... | 27 |
| 1.4.1 Cadmio..... | 27 |
| 1.4.1.1 Propiedades fisicoquímicas..... | 28 |
| 1.4.1.2 Fuentes y vías de exposición..... | 28 |
| 1.4.1.3 Toxicocinética..... | 29 |
| 1.4.1.4 Toxicodinamia..... | 32 |
| 1.4.1.5 Aspectos toxicológicos..... | 33 |
| 1.4.1.5.1 Intoxicación aguda..... | 33 |
| 1.4.1.5.2 Intoxicación crónica..... | 34 |
| 1.4.1.5.3 Tratamiento..... | 36 |

| | |
|--|--------------|
| 1.4.2 Plomo..... | 36 |
| 1.4.2.1 Propiedades fisicoquímicas..... | 37 |
| 1.4.2.2 Fuentes contaminantes..... | 37 |
| 1.4.2.3 Toxicocinética..... | 38 |
| 1.4.2.4 Toxicodinamia..... | 41 |
| 1.4.2.5 Aspectos toxicológicos..... | 42 |
| 1.4.2.5.1 Intoxicación aguda..... | 42 |
| 1.4.2.5.2 Intoxicación crónica..... | 43 |
| 1.4.2.5.3 Tratamiento..... | 45 |
| 1.5 Marco Legal..... | 46 |
| II. PARTE EXPERIMENTAL..... | 49 |
| 2.1 Muestreo..... | 49 |
| 2.2 Obtención y recolección de las muestras..... | 49 |
| 2.3 Método analítico..... | 52 |
| 2.3.1 Fundamento del método..... | 52 |
| 2.4 Materiales, reactivos y equipos..... | 52 |
| 2.5 Preparación de las muestras..... | 54 |
| 2.6 Análisis para cadmio y plomo..... | 55 |
| III.- RESULTADOS..... | 61 |
| IV.- DISCUSIÓN..... | 71 |
| V.- CONCLUSIONES..... | 74 |
| VI.- RECOMENDACIONES..... | 75 |
| VII.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 76-85 |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|--|---------------|
| Tabla 1. Características geográficas de las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta..... | 11 |
| Tabla 2. Clasificación taxonómica de la papa según NCBI (2016)..... | 12 |
| Tabla 3. Composición química de las variedades de papa..... | 15 |
| Tabla 4. Época de cosecha según piso ecológico..... | 16 |
| Tabla 5. Producción de papa en el mundo, 2012..... | 18 |
| Tabla 6. Niveles establecidos por el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod. 2015..... | 26 |
| Tabla 7. Características toxicodinámicas del cadmio en humano. Adaptado de Ramírez A., 2002..... | 32 |
| Tabla 8. Programación del horno de grafito para la lectura de cadmio | 55 |
| Tabla 9. Condiciones de espectrofotómetro para la lectura de cadmio | 56 |
| Tabla 10. Concentración vs. Absorbancia..... | 57 |
| Tabla 11. Programación del horno de grafito para la lectura de plomo... | 58 |
| Tabla 12. Condiciones de espectrofotómetro para la lectura de plomo | 59 |
| Tabla 13. Concentración vs. Absorbancia..... | 59 |
| Tabla 14. Resultados generales de la determinación de cadmio y plomo en papa cosechada en los cultivos cercanos a la cuenca del río Mashcón– Cajamarca, Perú en el mes de junio de 2015... | 61 |
| Tabla 15. Resultados generales de la determinación de cadmio y plomo en papa cosechada en los cultivos cercanos a la cuenca del río Chonta– Cajamarca, Perú en el mes de junio de 2015..... | 62 |
| Tabla 16. Datos estadísticos de las concentraciones de cadmio en la cuenca del río Mashcón..... | 64 |
| Tabla 17. Datos estadísticos de las concentraciones de cadmio en la cuenca del río Chonta..... | 65 |
| Tabla 18. Comparación de los valores de cadmio obtenidos en la cuenca del río Mashcón y en la cuenca del río Chonta..... | 66 |
| Tabla 19. Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del río Mashcón según el valor LMP..... | 67 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabla 20. | Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del rio Chonta según el valor LMP..... | 68 |
| Tabla 21. | Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del rio Mashcón con el promedio del total de muestras | 69 |
| Tabla 22. | Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del rio Chonta con el promedio del total de muestras. | 69 |
| Tabla 23. | Porcentaje de muestras de papas con cadmio que superan el límite máximo permisible según los valores del Codex Alimentarius en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta... | 70 |
| Tabla 24. | Valores de plomo en papas cosechadas en las cuencas del río Mashcón y río Chonta..... | 70 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| Figura 1. Hidrografía de las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta | 9 |
| Figura 2. Papa Peruanita..... | 13 |
| Figura 3. Papa Huagalina..... | 13 |
| Figura 4. Papa Yungay..... | 14 |
| Figura 5. Papa Perricholi..... | 14 |
| Figura 6. Calendario de cosechas en el departamento Cajamarca..... | 17 |
| Figura 7. Principales departamentos productores de papa, 2013-2012.... | 18 |
| Figura 8. Consumo Promedio per cápita anual de papa, según ámbito geográfico y principales ciudades (kg/persona)..... | 19 |
| Figura 9. Emisiones de Plomo (Pb) en toneladas métricas por año según categorías vehiculares; Dic. 2008..... | 20 |
| Figura 10. Toxicocinética del plomo..... | 41 |
| Figura 11. Plomo inhibe la biosíntesis del hemo..... | 42 |
| Figura 12. Ribete de Burton..... | 44 |
| Figura 13. Puntos de muestreo en las cuencas de los ríos Mashcón..... | 51 |
| Figura 14. Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito... | 54 |
| Figura 15. Programa del horno de grafito para la lectura de cadmio..... | 56 |
| Figura 16. Curva de calibración del equipo para el cadmio..... | 57 |
| Figura 17. Programa del horno de grafito para la lectura de plomo..... | 58 |
| Figura 18. Curva de calibración del equipo para el plomo..... | 60 |
| Figura 19. Concentración de cadmio en papa cosechada en la cuenca del río Mashcón..... | 63 |
| Figura 20. Concentración de cadmio en papa cosechada en la cuenca del río Chonta..... | 63 |
| Figura 21. Frecuencia vs. Concentración de cadmio en la cuenca del río Mashcón..... | 64 |
| Figura 22. Frecuencia vs. Concentración de cadmio en la cuenca del río Chonta..... | 65 |
| Figura 23. Comparación de los valores de la media de las | |

| | | |
|-------------------|---|----|
| | concentraciones de cadmio obtenidos en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta..... | 66 |
| Figura 24. | Comparación entre la media de las concentraciones de cadmio obtenidos en la cuenca del río Mashcón y el LMP..... | 67 |
| Figura 25. | Comparación entre la media de las concentraciones de cadmio obtenidos en la cuenca del río Chonta y el LMP..... | 68 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

Antropogénica: De origen humano o derivado de la actividad del hombre.

Carcinogénesis: La capacidad de un agente de producir una neoplasia.

CO: Monóxido de carbono

CODEX ALIMENTARIUS: Código de los Alimentos.

COV: Compuestos orgánicos volátiles

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

MINAM: Ministerio del Ambiente

Mod.: Modificado

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar

NCBI: Centro Nacional para la Información Biotecnológica

N.D.: No detectado

NOx: Óxidos de Nitrógeno

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

OMS: Organización Mundial de la Salud.

ppb: Partes por billón

ppm: Partes por millón

PM₁₀: Material particulado inhalable; de diámetro menor o igual a 10 µm.

PTS: Partículas totales en suspensión o material particulado.

SO₂: Dióxido de Azufre

SO₃: Trióxido de azufre

Toxicodinamia: Es el estudio de la manera en que los agentes químicos ejercen sus efectos en los organismos vivos.

Toxicocinética: Estudia los cambios que ocurren a través del tiempo en la absorción, distribución, biotransformación y eliminación de los tóxicos en el organismo.

Xenobiótico: Sustancia química que no es un componente natural del organismo.

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad determinar las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. Para llevar a cabo esta investigación se recolectó un total de 40 muestras de papa de cultivos cercanos a las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta. No se detectó la presencia de plomo en ninguna muestra de papa (Límite de detección para el plomo: 0.5 ppb); por lo tanto, al carecer de un valor no fue posible realizar la comparación con el límite máximo permisible (0.1 ppm) establecido para el plomo según lo indicado en el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod.2015 dado por el *Codex Alimentarius*. La concentración media (\bar{x}) de cadmio en las muestras de papa para la cuenca del río Mashcón fue de 0.3095 ppm \pm 0.0078 ppm y para la cuenca del río Chonta fue de 0.3078 ppm \pm 0.0223 ppm, evidenciándose que el 100% de las muestras de papa para ambas cuencas presentan concentraciones de cadmio que superan el límite máximo permisible (0.1 ppm, según lo indicado en el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod.2015 dado por el *Codex Alimentarius*).

Palabras clave: cadmio, plomo, papa, espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, ríos Mashcón y Chonta, Codex Alimentarius.

SUMMARY

The present research has as purpose to determine the concentrations of cadmium and lead in potato (*Solanum tuberosum*) harvested in the Mashcón and Chonta river basins by Atomic Absorption Spectrometry with Graphite Furnace. To make this research, it was collected a total of 40 potato samples of nearby crops of the Mashcón and Chonta river basins. In potato samples, it was not detected the presence of lead (*Limits of detection for lead: 0.5 ppb*), therefore lacking of a value, it was not possible to compare it with the maximum permissible limit (0.1 ppm) established for lead as indicated in *CODEX STAN 193-1995* Revised in 2009 Amended in 2015, given by the *Codex Alimentarius*. The average concentration (\bar{x}) of cadmium in the potato samples for the Mashcón river basin was 0.3095 ppm \pm 0.0078 ppm and for the Chonta river basin was 0.3078 ppm \pm 0.0223 ppm, evidenced that 100% of potato samples for both basins present cadmium concentrations that exceed the maximum permissible limit (0.1 ppm, as indicated in *CODEX STAN 193-1995* Revised in 2009 Amended in 2015, given by the *Codex Alimentarius*.

Keywords: cadmium, lead, potato, atomic absorption spectrophotometry in graphite furnace, Mashcón and Chonta River, *Codex Alimentarius*.

INTRODUCCIÓN

La papa es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo. Más de mil millones de personas en todo el mundo comen papa. Así mismo, Perú es el primer productor de papa de América Latina, con una cosecha récord mayor de cuatro millones de toneladas anuales.

En nuestro país, el departamento de Cajamarca tiene a la papa como uno de sus principales productos de cultivos y de consumo. Además, aquí se encuentra una de las ciudades más importantes de la sierra norte del Perú, la ciudad de Cajamarca, que se sitúa en el valle interandino que forman los ríos Mashcón y Chonta. Estas cuencas se encuentran influenciadas por la actividad de la mina de oro más grande de Sudamérica, Yanacocha. Desde su llegada, se han reportado episodios de contaminación ambiental que hasta la actualidad han generado numerosos conflictos sociales (por ejemplo Conga).

Como se sabe, las actividades antropogénicas (industriales, mineras, agrícolas, etc.) arrojan al medio ambiente metales tóxicos, como el cadmio y plomo, muy dañinos para la salud humana y para otras especies. Estos metales tóxicos de una u otra manera van a dar a los suelos, produciendo en este alteraciones físicas o químicas, siendo lo más importante la bioacumulación de estos metales en las plantas y por consiguiente el ingreso de estos compuestos a la cadena alimenticia. Los metales pesados cobran gran importancia en Salud Pública por su toxicidad aguda y crónica en la población.

La exposición a estos elementos está relacionada con problemas de salud, así tenemos al cadmio considerado cancerígeno de clase 1 por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), mientras que el plomo preocupa principalmente por su neurotoxicidad.

La población expuesta más vulnerable a los efectos producidos por estos elementos son los niños menores de cinco años, las gestantes, los adultos mayores y la población ocupacionalmente expuesta a estos agentes contaminantes.

La toxicidad de metales como el cadmio y plomo, y su presencia en los alimentos es un hecho ante el que nos encontramos diariamente. Así, un diario local publicó un artículo sobre un estudio en Cajamarca donde se evidencian altos niveles de metales pesados en la dieta de pobladores rurales. El problema de la intoxicación alimentaria por metales pesados está muy relacionado a la ingestión continua, regular y a las cantidades ingeridas, además de las condiciones de salud de las poblaciones (por ejemplo la desnutrición). Por este motivo, resulta importante la determinación de cadmio y plomo en uno de los principales alimentos de Cajamarca, como es la papa.

Por todo lo expuesto, el presente trabajo de investigación se basa en determinar las concentraciones de cadmio y plomo en papa cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta (Cajamarca) por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica en Horno de Grafito.

HIPÓTESIS

Las papas (*Solanum tuberosum*) cosechadas en las cuencas del río Mashcón y río Chonta, presentan concentraciones de cadmio y plomo que superan el límite máximo permisible dado por el *Codex Alimentarius*.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar y comparar las concentraciones de cadmio y plomo en papas (*Solanum tuberosum*, variedades: Peruanita, Huagalina, Yungay y Perricholi) cosechadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las concentraciones de cadmio y plomo en papas cosechadas en la cuenca del río Mashcón.
2. Determinar las concentraciones de cadmio y plomo en papas cosechadas en la cuenca del río Chonta.
3. Comparar las concentraciones de cadmio y plomo en papas cosechadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta.
4. Evaluar y comparar las concentraciones obtenidas para plomo y cadmio con el límite máximo permisible según el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2014 dado por el *Codex Alimentarius*.

I. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En el año 1993, la empresa minera Yanacocha S.R.L. inicia sus actividades de extracción de oro, y es así que con el tiempo se inicia un agudo conflicto con la población, que consideran que la empresa minera causa contaminación ambiental. Los años 2000 y 2001 marcan una etapa de agudización de la problemática ambiental debido al número de incidencias ambientales y a la ampliación espacial del conflicto.

En el 2000, en el mes de enero, se da el derrame de sustancias tóxicas (relaves de cadmio, plomo y mercurio) a lo largo de 180 km de la cuenca del río Jequetepeque, ocasionando la muerte de 12 000 truchas en la piscigranja de Granja Porcón. En abril se informa la presencia de metales pesados en la planta de agua potable de Cajamarca. En junio se derrama mercurio en Choropampa, ocasionando la intoxicación de campesinos.

En el 2001, en el mes de marzo se presenta la muerte de truchas a 4 km de la ciudad de Cajamarca, revelando luego del análisis que murieron por una contaminación aguda causada por la presencia de metales pesados y variaciones de pH en el río Grande. ⁽¹⁾

Dado los conflictos sociales que se han presentado, es responsabilidad del Estado, a través de la Autoridad de Salud y de las personas naturales y jurídicas dentro del territorio nacional, contribuir a una efectiva gestión del ambiente y de los factores que generan riesgos a la salud de las personas, además de fomentar el conocimiento y uso de los medios de resolución y gestión de conflictos ambientales. ⁽²⁾

1.1.1 Estudios anteriores

- En septiembre del 2014, se publicó el artículo “Heavy metal and metalloids intake risk assessment in the diet of a rural population living near a gold mine in the Peruvian Andes (Cajamarca)”, realizado por un grupo de investigadores de la Universidad de Barcelona (España) y la Universidad Nacional de Cajamarca. En este estudio se encuestó a pobladores de las cuencas de los ríos Porcón, Rejo y Azufre, sobre los alimentos que consumieron en las últimas 24 horas. Después se recolectó estos alimentos y se determinó la presencia de metales pesados y metaloides. Luego, se calculó la ingesta diaria de cada metal por individuo (μg metal/kg de peso corporal por día). Al finalizar el estudio, se concluyó que los principales alimentos consumidos por la población, después del agua, son los tubérculos y los cereales, además, las ingestas de plomo y arsénico en las dietas son más altas cuanto más cercana está la población a la mina de oro (debido al consumo de alimentos locales y agua); y respecto al cadmio, la papa y el arroz son los que aportan este metal en la alimentación.⁽³⁾
- En el año 2004 – 2005 se llevó a cabo un programa de monitoreo participativo para evaluar la calidad de agua en los alrededores del Distrito Minero de Yanacocha.⁽⁴⁾
- La OEFA, mediante Cédula de Notificación 012-2014, recibida en Lima por Minera Yanacocha el 18 de diciembre del 2014, entregó a esta empresa minera la Resolución Directoral 018-2014-OEFA/DS, la que en su parte resolutive ordena a Minera Yanacocha ciertas acciones, debido a que se encontró que del Depósito de Desmonte San José (parte Sur) de

Yanacocha, emanan filtraciones que se descargan directamente al suelo natural y que tienen un pH de 4.12, de carácter ácido, que exceden en más de 200 % el límite máximo permisible (ph 6 a 9). ⁽⁵⁾

- En la tesis “Determinación y comparación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada según la distancia al Complejo Metalúrgico DOE RUN PERÚ en la Oroya”, para optar el título de Químico Farmacéutico (UNMSM), se determinó niveles de plomo superiores al límite máximo permisible, mencionando así que existe una correlación directa entre la distancia al centro minero y las concentraciones de plomo y cadmio en la papa. ⁽⁶⁾

1.2 Descripción del área de estudio

1.2.1 Localización

Las Cuencas de los ríos Mashcón y Chonta se encuentran en la provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca.

La ciudad de Cajamarca, ubicada a 2750 m.s.n.m, es una de las ciudades más importantes de la sierra norte del Perú que se sitúa en el valle interandino que forman los ríos Mashcón y Chonta.

Tanto el río Mashcón como el río Chonta, pertenecen sucesivamente a la Región Hidrográfica del Amazonas, a la intercuenca del Alto Amazonas, a la cuenca del Río Marañón, a la intercuenca Alto y a la cuenca del Río Crisnejas. ⁽⁷⁾

➤ **Cuenca del río Chonta**

Está dividida en ocho unidades hidrográficas menores, que en forma conjunta cubren un área de 345.13 km². Los afluentes más importantes del Chonta son los ríos Grande de Chonta, Azufre y Quinuario, que cubren un área de drenaje de 245km² (corresponde a más del 70 % del área total de la cuenca y se presenta las mayores precipitaciones anuales).

La cuenca del río Chonta está ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distritos de Baños del Inca, la Encañada y Cajamarca. Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran entre el paralelo 6°55'23.27" y 7°13'14.66" de Latitud Sur y 78°18'43.69' y 78°37'37.79" de Longitud Oeste. ^(7, 8)

- Río Chonta: Este curso se origina por la confluencia de los ríos Quinuario, Azufre y Grande de Chonta, y desde ahí toma el nombre de Chonta hasta juntarse con el Mashcón para formar el Cajamarquino. El lugar donde ocurre la confluencia de los tres ríos se lo conoce, localmente, como Tres Tingos (aproximadamente a 7.4 kilómetros al sudeste del distrito minero de Yanacocha).
- Río Grande de Chonta: La longitud de este río es de aproximadamente 18 kilómetros.
- Río Azufre: La longitud de este río es de aproximadamente 11.34 kilómetros.
- Río Quinuario: Su longitud se estima en 8.375 kilómetros. ⁽⁸⁾

➤ **Cuenca del río Mashcón**

La cuenca del río Mashcón está dividida en nueve unidades hidrográficas menores, que en forma conjunta cubren un área de 315 km². Los afluentes más importantes del río Mashcón son los ríos Grande y Porcón; que cubren un área de drenaje de 147.10 km², que corresponde a casi el 50% del área total de la cuenca.⁽⁷⁾

Se encuentra ubicado entre los meridianos 6°58'26.76" y 7°12'50.02" de Latitud Sur y los meridianos 78°30'13.37" y 78°30'39.59" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich.⁽⁹⁾

- El río Mashcón atraviesa la ciudad de Cajamarca para luego unirse con el río Chonta y formar el río Cajamarca.⁽⁷⁾
- El río Porcón: Nace al pie del Cerro Quilish, donde toma inicialmente, el nombre de río Quilish, que al alimentarse con las aguas del río Hornomayo, toma el nombre de río Porcón. La longitud promedio de este río es de 9 244 metros (9.2 km).
- El río Grande: Nace en el extremo sur de los cerros Yanacocha, a partir de la confluencia de las quebradas Encajón y Coremayo. Su longitud estimada es de 12 350 metros (12.35 km).^(9, 10)

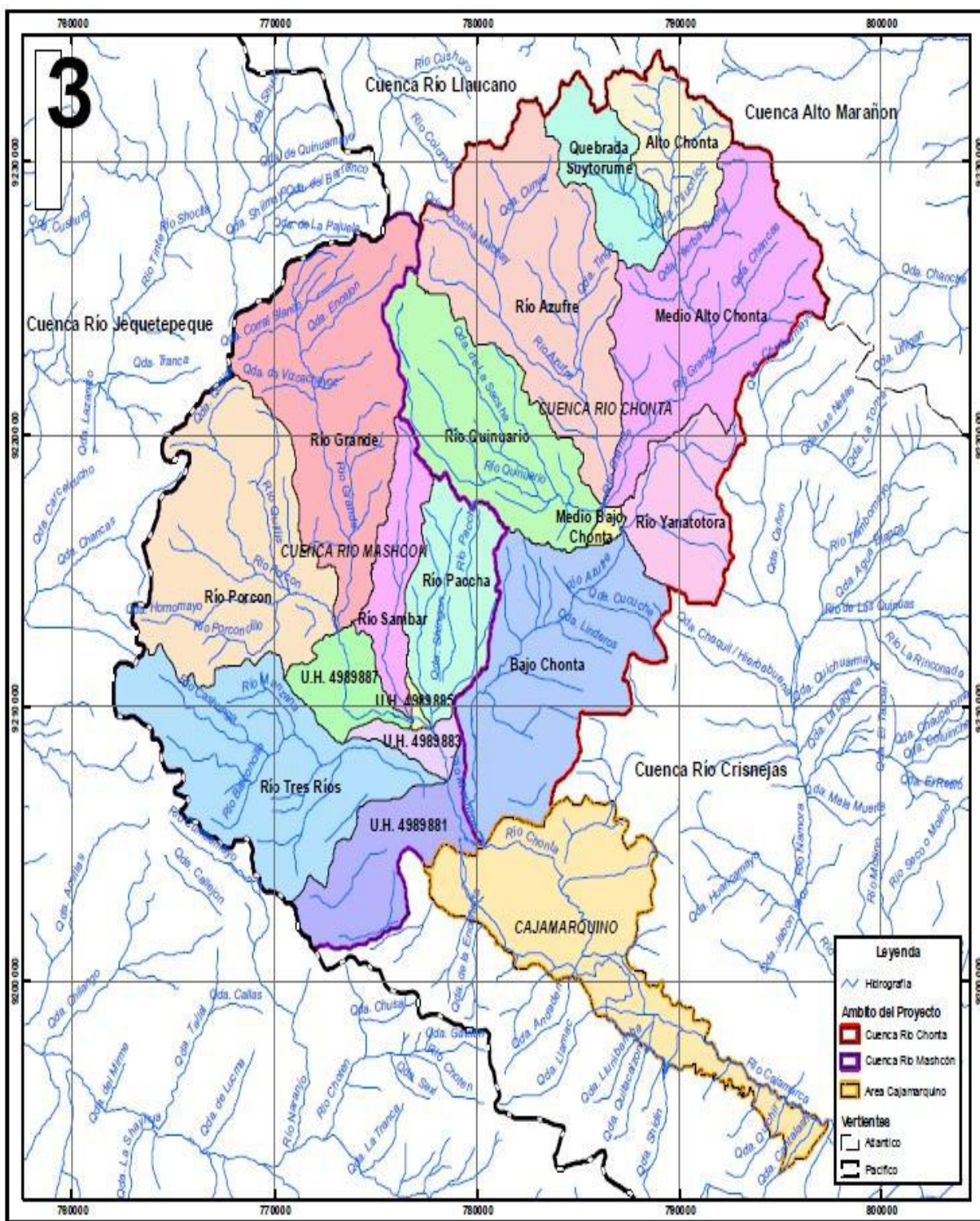


Figura 1. Hidrografía de las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta. ⁽¹⁴⁾

1.2.2 Población

Cajamarca tiene 13 provincias y 107 distritos; de los cuales la provincia de Cajamarca está formada por 12 distritos. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) a junio del 2014, Cajamarca contaba con una población estimada de 1 525 064 habitantes, siendo la provincia de Cajamarca la que cuenta con mayor cantidad de habitantes (381 725) y la de mayor actividad comercial.

En tanto, según ámbito geográfico, el 66.1 % de la población de Cajamarca es rural y el 33.9 %, urbana. ⁽¹¹⁾

Pese a los recursos que dispone esta región, de acuerdo al INEI (2007), Cajamarca como región presenta un 56 % de su población con niveles de pobreza, mientras que en la provincia de Cajamarca, el total de pobres representa el 44.5 % de la población de la provincia. ⁽¹²⁾

En lo referente a la desnutrición crónica, Cajamarca aún tiene una tasa elevada (39.8 %) con relación al promedio nacional. ⁽¹³⁾

1.2.3 Aspectos geográficos

Los aspectos geográficos de las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta los podemos visualizar en la Tabla 1. ⁽¹⁴⁾

Tabla 1. Características geográficas de las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta.

| | |
|-------------------------|--|
| CLIMA | Caracterizado por ser frío y húmedo, con períodos secos (mayo-setiembre) y lluviosos (octubre-abril). |
| <i>Precipitación</i> | La precipitación promedio total anual varía entre 1250 mm en las partes altas hasta 600 mm en las bajas. |
| <i>Temperatura</i> | Partes altas: La temperatura máxima media mensual oscila entre 15.7 °C y 19.3 °C (marzo y setiembre), mientras que la temperatura mínima media mensual se encuentra entre -1.2 °C y 1.6 °C (agosto y marzo). Partes bajas: La temperatura máxima media mensual oscila entre 20.9 °C y 21.9 °C (marzo y setiembre), mientras que la temperatura mínima media mensual se encuentra entre 4.6 °C y 9.3 °C (agosto y marzo). |
| <i>Humedad Relativa</i> | En las partes altas varía entre un máximo de 85.8 % (marzo) hasta un mínimo de 63 % (julio). En las partes bajas varía entre 74.6 % (marzo) hasta un mínimo de 62.7 % (julio). |
| <i>Horas de sol</i> | Solo se tiene información de las partes bajas y valle Cajamarquino, donde se reporta que el menor valor medido es de 4.7 horas (marzo) y el mayor valor es de 7.4 horas (julio). |
| <i>Evaporación</i> | Ligeramente mayor durante los meses de precipitación mínima. De modo que la mayor tasa de evaporación ocurre entre julio y agosto. |
| <i>Viento</i> | Influenciados por la topografía del terreno, dando como resultado su canalización a lo largo de los ejes de los valles, con vientos predominantes colina arriba durante el día y vientos colina abajo durante la noche, en respuesta a los cambios de densidad del aire ocasionados por las variaciones de temperatura. |
| SUELOS | Paisaje alto andino típico, de relieve complejo y montañoso, con presencia de laderas, faldas de cerros, pendientes convexas y cóncavas, planicies, afloramientos rocosos y zonas escarpadas. El 42 % del área tienen suelos con pH menor de 6.5 (reacción ácida) y aproximadamente el 54 % tienen pH superior a 6.6; la pedregosidad superficial superior al 10 % se encuentra en el 59.36 % del área. El material parental está constituido principalmente por rocas calizas y volcánicas (30.10 % de área), material detrítico fino y material detrítico grueso (25.75 % de área) y por material detrítico grueso con rocas volcánicas (22.31 % de área); el resto son depósitos aluviales. |

1.3 PAPAS (*Solanum Tuberosum*)

1.3.1 Origen

En el origen de la papa se postulan principalmente dos teorías: la primera sostiene que son posible dos centros de domesticación: uno principal, situado en el macizo andino peruano-boliviano y el otro secundario, que comprende el Sur de Chile y Chiloé, y la segunda reconoce un solo centro de domesticación comprendida por la región sur del Perú y Bolivia.

En los últimos años, los estudios genéticos, bioquímicos y moleculares han corroborado la teoría de la existencia de un solo centro de domesticación ubicado en la región peruana-boliviana.

La región del lago Titicaca sería el centro de origen de la papa cultivada debido a la existencia de un gran número de especies y variedades. Se presume que la domesticación de la papa se llevó a cabo hace unos 10 000 años por la mujer andina cuando el hombre se dedicaba a la caza y pesca, siendo este cultivo la base de las civilizaciones y culturas andinas. ⁽¹⁵⁾

1.3.2 Taxonomía

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la papa según NCBI (2016). ⁽¹⁶⁾

| | |
|-------------------|-----------------------------|
| Reino | <i>Plantae</i> |
| División | <i>Magnoliophyta</i> |
| Clase | <i>Magnoliopsida</i> |
| Orden | <i>Solanales</i> |
| Familia | <i>Solanaceae</i> |
| Subfamilia | <i>Solanoideae</i> |
| Género | <i>Solanum</i> |
| Especie | <i>Solanum tuberosum</i> L. |

1.3.3 Descripción de las papas

La parte utilizada de la planta es el tubérculo. El tubérculo es un tallo subterráneo especializado en el almacenamiento de sustancias de reserva de alto valor nutricional.

Entre las variedades de papas empleadas tenemos:

- **Peruanita:** Variedad nativa. Su planta es de porte mediano a alto. El tubérculo es redondeado, piel bicolor, áreas de color rojizo de borde definido y áreas amarillentas alrededor de los ojos; ojos semiprofundos a profundos, pulpa amarillenta y brotes rojizos con áreas cremosas en los nudos. Muy buena calidad culinaria.



Figura 2. *Papa Peruanita*

- **Perricholi:** Variedad moderna. Planta de abundante floración pero escasa fructificación, flores moradas. Los tubérculos son redondeados, piel con fondo cremoso y pigmentos morados de distribución irregular pero más concentrada en los ojos apicales. Resistente a “ranchar”.



Figura 3. *Papa Perricholi*

- **Huagalina:** Variedad nativa. Conocida también como “amarilla del norte”. Tiene una planta de porte alto y con producción regular de frutos. Los tubérculos son ovalados u oval redondeados. Su piel tiene pigmentos rojizos y áreas de borde irregular de color amarillento alrededor de los ojos. Muy buena calidad culinaria y comercial.



Figura 4. Papa Huagalina

- **Yungay:** Variedad moderna. Planta alta con floración abundante, regular producción de frutos y flor rojo morada. Los tubérculos son ovales chatos, piel amarillenta con pigmentos rojizos en los ojos que son superficiales, pulpa amarillenta y brotes rojizos. Se le conoce como “papa chola” por ser tolerante a condiciones adversas de suelo, clima y patógenos. ⁽¹⁷⁾



Figura 4. Papa Yungay

1.3.4 Composición química de la papa

La composición promedio en una porción de 100 g de papa según las variedades empleadas se observan en la Tabla 3: ^(18, 19)

Tabla 3. Composición química de las variedades de papa.

| Composición | Variedades de papa | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------|--------|------------|
| | Peruanita | Huagalina | Yungay | Perricholi |
| Energía (kcal) | 78 | 54 | 86 | - |
| Agua (g) | 74.1 | 77.9 | 77.1 | - |
| Proteínas (g) | 2.0 | 2.4 | 2.1 | - |
| Grasa total (g) | 0.3 | 0.2 | 0.1 | - |
| Carbohidratos totales (g) | 22.4 | 18.3 | 19.9 | - |
| Fibra dietaria (g) | 5.1 | 7.1 | - | - |
| Zinc (mg) | - | - | 0.25 | - |
| Hierro (mg) | 0.38 | 0.56 | 0.45 | - |
| Vitamina C (mg) | 17.74 | 24.44 | 6.2 | - |

“-”: No se ha reportado o se desconoce el dato.

Fuente: Tablas peruanas de composición de alimentos 2009 y 2013.

1.3.5 Condiciones agroclimáticas de cultivo

La papa es esencialmente un “cultivo de clima templado”, para cuya producción la temperatura representa el límite principal: las temperaturas inferiores a 10 °C y superiores a 30 °C inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción ocurre donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 18 °C a 20 °C.

Los suelos pesados con arcilla y limo, son menos adecuados para este cultivo. Las papas pueden crecer casi en todos los tipos de suelos, salvo donde son muy salinos o alcalinos. Los suelos que ofrecen menos resistencia al desarrollo de los tubérculos, son los más convenientes, y los suelos franco arcillosos o franco arenosos con alto contenido de materia orgánica, con buen drenaje y ventilación,

son los mejores. Se considera ideal un pH de 5.2 a 7.5 en el suelo y con una profundidad entre 25 cm y 30 cm. ⁽²⁰⁾

1.3.6 Cosecha

Los meses de Abril a Junio es la época en que se cosecha más de la mitad de la producción anual (52.9 %). Las principales zonas que aportan a este comportamiento de la oferta de papa son las regiones de la Sierra, siendo las principales Huánuco, Junín, Huancavelica, Ayacucho y Puno.

Respecto a los pisos ecológicos en los que se cultiva, aproximadamente el 84 % de la producción se concentra en la región Andina, específicamente en las regiones Quechua y Suni que van desde los 2300 m s.n.m. hasta los 4100 m s.n.m. En la región Yunga se produce 11 % y sólo 5 % en la región Chala (Costa).

Respecto a las épocas de cosecha, el 70 % se concentra en el periodo marzo – junio. ⁽²¹⁾

Tabla 4. *Época de cosecha según piso ecológico.* ⁽¹⁷⁾

| Piso ecológico | Épocas de cosecha |
|--------------------------------|---------------------|
| Suni (3500 – 4100 m s.n.m.) | Abril - Julio |
| Quechua (2300 – 3500 m s.n.m.) | Marzo - Junio |
| Yunga (500 – 2300 m s.n.m.) | Septiembre - Agosto |
| Chala (hasta 500 m s.n.m.) | Agosto - Enero |

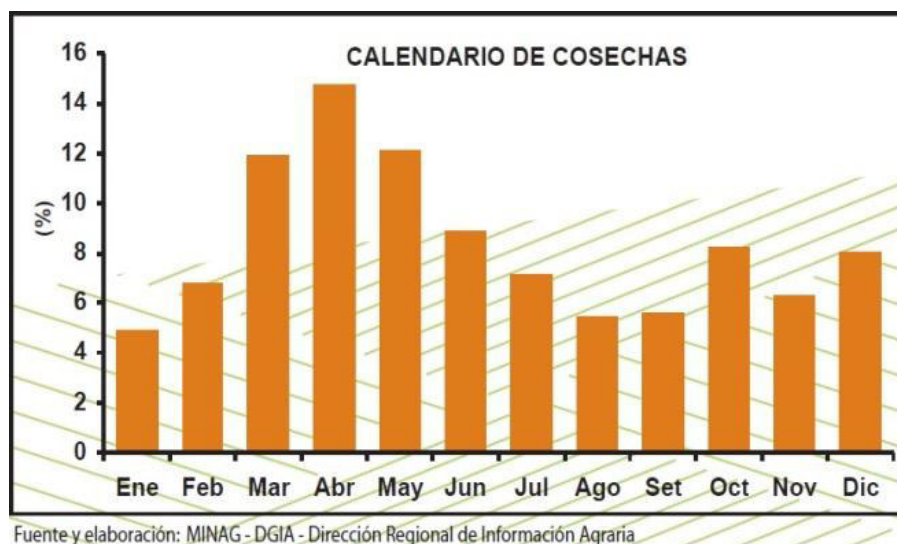


Figura 6. *Calendario de cosechas en el departamento Cajamarca.*

1.3.7 Producción y consumo

Actualmente, la papa es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo. Más de mil millones de personas en todo el mundo comen papa, y la producción mundial de cultivos total supera los 300 millones de toneladas métricas. ⁽¹⁸⁾

Según el ranking mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), China es el principal productor de papa a nivel mundial, mientras que Perú se ubica como el décimo octavo productor de papa en el mundo. Así mismo, nuestro país es el primer productor de papa de América Latina, con una cosecha récord mayor de cuatro millones de toneladas anuales. ^(23, 24)

Tabla 5. Producción de papa en el mundo, 2012.

| PRODUCCIÓN DE PAPA EN EL MUNDO, 2012 | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Ranking | País | Producción (Int \$1000) | Producción TM |
| 1 | China | 1 1470 356 | 87 260 000 |
| 2 | India | 7 002 050 | 41 483 000 |
| 3 | Estados Unidos | 2 987 382 | 20 990 738 |
| 4 | Federación de Rusia | 2 793 937 | 29 532 530 |
| 5 | Alemania | 1 665 632 | 10 665 600 |
| 6 | Ucrania | 1 598 029 | 23 250 200 |
| 7 | Bangladesh | 1 312 276 | 8 205 470 |
| 8 | Países Bajos | 1 038 951 | 6 765 618 |
| 9 | Polonia | 989 377 | 9 091 900 |
| 10 | Francia | 972 314 | 6 340 807 |
| 11 | Irán | 881 036 | 5 400 000 |
| 12 | Turquía | 765 590 | 4 822 000 |
| 13 | Canadá | 740 998 | 4 590 296 |
| 14 | Argelia | 687 124 | 4 219 476 |
| 15 | Egipto | 678 837 | 4 500 000 |
| 16 | Reino Unido | 663 815 | 4 553 000 |
| 17 | Pakistán | 661 503 | 4 104 400 |
| 18 | Perú | 628 456 | 4 473 503 |
| 19 | Brasil | 590 224 | 3 731 798 |
| 20 | Malawi | 482 771 | 3 255 780 |

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO

En el año 2013, el principal departamento productor de papa fue Puno con 643 mil toneladas, seguido de Huánuco, Cusco, Junín y La Libertad que juntos aportan con el 55% de la producción nacional. ⁽²⁵⁾

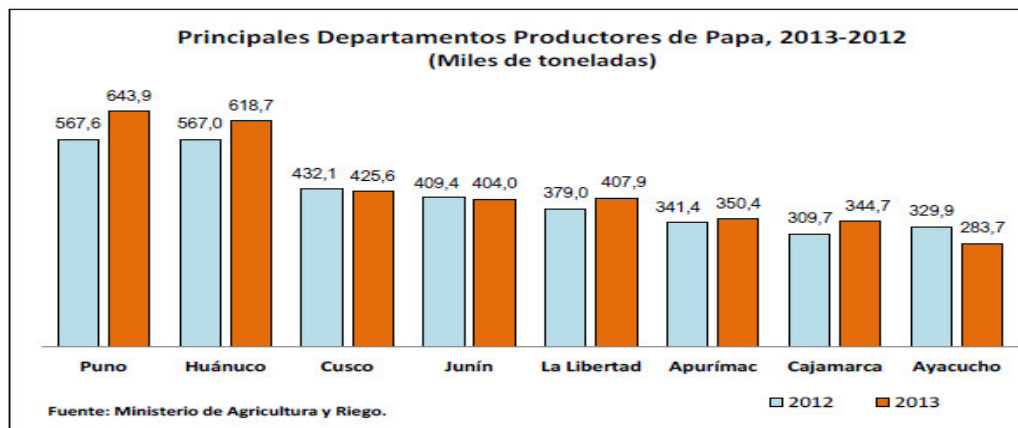
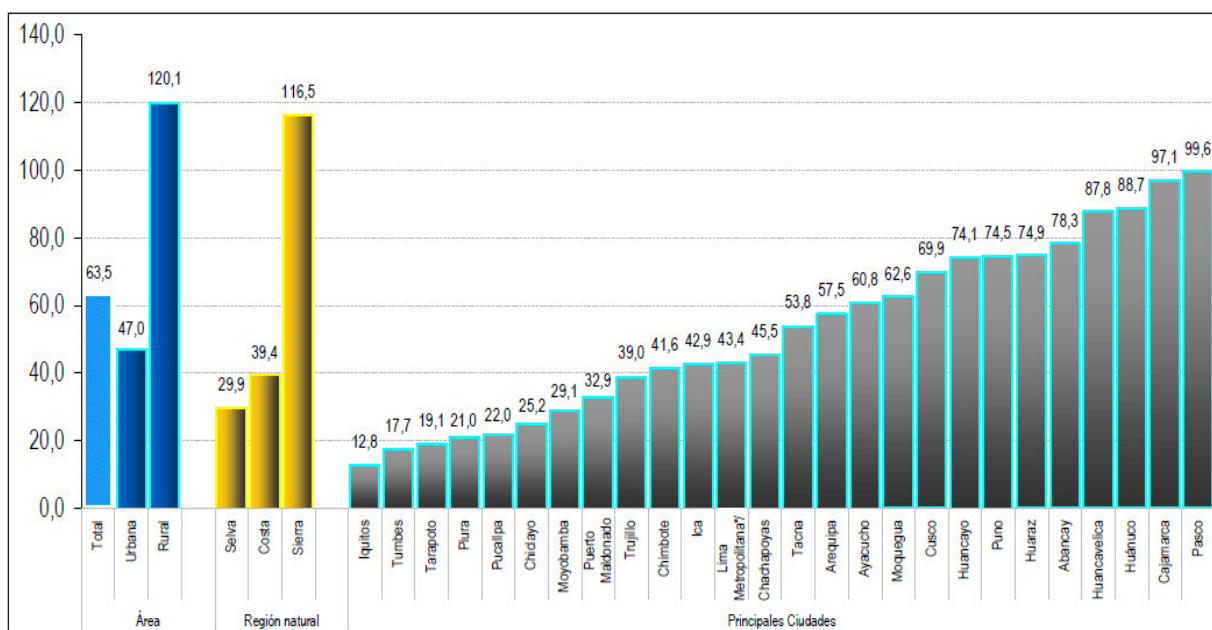


Figura 7. Principales departamentos productores de papa, 2013-2012.

La encuesta nacional de presupuestos familiares 2008-2009 indica que en nuestro país la papa es uno de los alimentos de mayor consumo promedio per cápita, con 63 kilos 500 gramos al año y 5 kilos 300 gramos al mes, seguido de la yuca que tiene un consumo promedio per cápita de 6 kilos 600 gramos al año.

Según ámbito geográfico, en Lima Metropolitana se consumen 43 kilos 400 gramos, es decir, 29 kilos 200 gramos al año menos de papa que en el resto del país, donde es mayor el consumo de este tubérculo con 72 kilos 600 gramos al año. Por área de residencia, el consumo promedio per cápita de papa es de 120 kilos 100 gramos al año en el área rural, es decir, 73 kilos 100 gramos más que el área urbana donde el consumo promedio per cápita es de 47 kilos al año. Por región natural, en la Sierra, el consumo es de 116 kilos 500 gramos al año, cifra superior en 86 kilos 600 gramos con respecto a la Selva, donde el consumo de este tubérculo es menor con 29 kilos 900 gramos al año. ⁽²⁵⁾



*/ Incluye Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.
Fuente: INEI-Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares 2008-2009.

Figura 8. Consumo Promedio per cápita anual de papa, según ámbito geográfico y principales ciudades (kg/persona).

1.3.8 Fuentes que influyen en la contaminación de la papa

Entre las fuentes que podemos encontrar en la región son:

- **Transporte:** El parque automotor ha ido en aumento en los últimos años en esta parte de la región, debido a la influencia de la actividad minera. Se emiten en la atmósfera 0.45 toneladas métricas por año de plomo (Pb) por el parque automotor de la ciudad de Cajamarca, de esta cantidad, 0.423 toneladas son emitidas en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cajamarca, de los cuales las categorías que emiten mayor cantidad son los automóviles. ⁽²⁶⁾

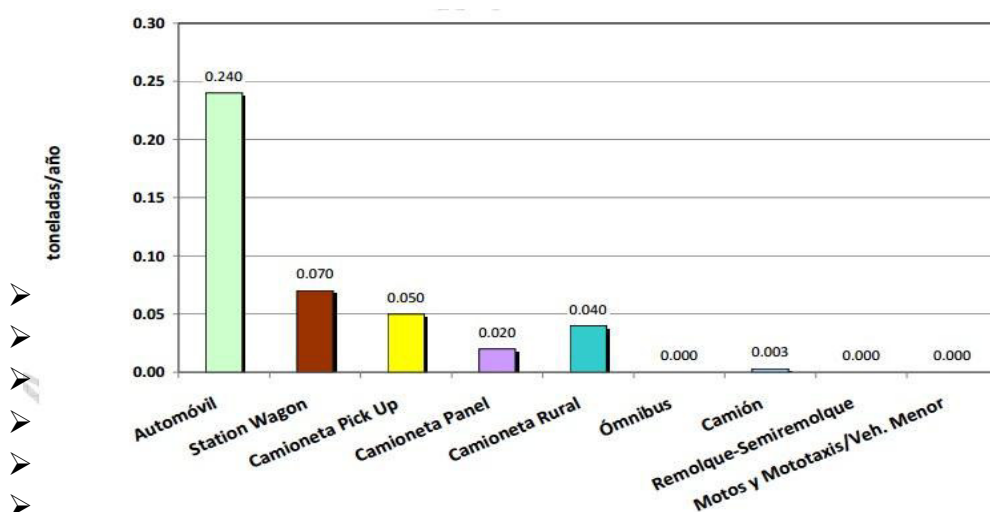


Figura 9. Emisiones de Plomo (Pb) en toneladas métricas por año según categorías vehiculares; Dic. 2008 ⁽²⁶⁾

- **Minería:** Yanacocha, la mina de oro más grande de Sudamérica, ubicada a una altitud de 3500 y 4100 m s.n.m, se localiza a unos 45 km de la ciudad de Cajamarca. Entre las cuencas que se encuentran influenciadas por esta minera tenemos a la cuenca de los ríos Mashcón y Chonta. La mina Yanacocha utiliza como modalidad de extracción el tajo abierto (o cielo

abierto). Entre los contaminantes de la minería a cielo abierto se encuentran los metales pesados. Esta modalidad de extracción conlleva el uso de sustancias contaminantes (p. ej. cianuro o ácido sulfúrico), grandes necesidades energéticas, importantes volúmenes de agua por largos periodos, producción y amplificación de drenaje ácido de mina y roca, niveles de tráfico elevados (un camión con acoplamiento cada diez minutos, 24 h/día) y generación de pasivos ambientales importantes. ^(27, 28)

- **Otras fuentes:** En la cuenca atmosférica de la ciudad de Cajamarca se emiten un total de 3812.034 toneladas métricas de contaminante (PM₁₀, PTS, SO₂, NOX, CO, COV y SO₃) por año, provenientes de las fuentes fijas, siendo las ladrilleras (2249.50 toneladas métricas por año, representando el 59 % del total), panaderías y ferreterías las categorías que emiten contaminantes en mayor cantidad, emitiendo a la atmósfera más del 90% del total de las emisiones. ⁽²⁹⁾

1.3.9 Factores que influyen en la contaminación de la papa

Las principales vías de entrada de los metales a las plantas son a través del aire, el agua y el suelo.

- **Aire:** El viento es un agente que también produce la movilización o migración en forma particulada de los metales pesados que se encuentran en la superficie del suelo. En este caso, los factores que gobiernan el proceso son la naturaleza de las partículas que transporta y la intensidad del viento. El transporte de materia particulada puede suponer la contaminación de las aguas y de los terrenos cercanos, pero además, desde una perspectiva toxicológica, el material

particulado transportado por el aire tiene importantes implicaciones desde el punto de vista de la salud, básicamente a través de la inhalación de pequeñas partículas de 10 micras de diámetro o menos que pueden ser absorbidas en la región alveolar del pulmón, por lo que representa una amenaza para la salud pública. ⁽³⁰⁾

➤ **Agua:** La circulación de metales con las aguas está influenciada por el balance hídrico del agua en el suelo, donde interviene la cantidad de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración del agua, en función de las propiedades fisicoquímicas del suelo. ⁽³⁰⁾

➤ **Suelo:** Los principales peligros ambientales de la transferencia de metales pesados desde el suelo a las plantas son la entrada de éstos a la cadena trófica, pérdida de cobertura vegetal o cosecha por su fitotoxicidad y la absorción de metales desde el suelo por plantas tolerantes.

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias; sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos. ⁽³¹⁾

En los suelos contaminados con plomo se suele encontrar también cadmio y zinc, por analogía entre sus propiedades y características metálicas. Sin embargo, en estos casos la barrera suelo-planta limita la translocación del plomo a la cadena alimenticia (inmovilización química en el suelo o limita crecimiento de la planta) antes de que el plomo alcance valores que puedan dañar al hombre. ⁽³²⁾

El pH es un parámetro importante que define la movilidad del catión. Las fracciones más móviles de iones ocurren en rangos menores de pH (suelos ácidos).⁽³¹⁾

Los suelos arcillosos presentan una mayor capacidad de retención de agua y contaminantes, una mayor micro porosidad y, por tanto, una reducción del drenaje interno del suelo. Por el contrario, en los suelos arenosos, con menor capacidad de fijación y una macro porosidad dominante, los metales pesados se infiltran rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.⁽³³⁾

1.3.9 Interacción de los metales con la papa

1.3.9.1 Interacción del cadmio con la papa

El cadmio se encuentra en el suelo siempre de forma divalente (Cd^{+2}) y su disponibilidad depende del pH del suelo (solubilidad casi nula a pH de 9.5), de la estructura del suelo y del contenido de materia orgánica. Además, entre los factores de la planta que pueden influir en la cantidad de cadmio absorbido se encuentran: la especie, la edad y el desarrollo radicular.

La concentración de cadmio no es la misma en las diferentes partes de la planta, observando la siguiente secuencia: raíces > tallos subterráneos > hojas > frutas > semillas.^(34, 35)

➤ Ingreso, transporte y acumulación del cadmio

El cadmio puede ingresar a la planta de dos formas: forma pasiva mediante difusión iónica del suelo a la raíz y de forma activa mediante transportadores y canales usados por metales esenciales debido a la baja especificidad de estos.

El cadmio y el zinc presentan una gran similitud química, por lo que los mecanismos mediante los cuales el zinc (metal esencial) entra a la planta permiten la entrada del cadmio.

Se cree que el cadmio ingresa a la planta mediante transportadores de cationes divalentes como Zn^{2+} , Cu^{2+} y Fe^{2+} , o mediante canales de Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Dentro de los transportadores que están involucrados en la toma de cadmio, están los de cationes de las familias ZIP (Zn y Fe) y NRAMP (puede que su función sea en la movilización del metal y no en la entrada), el transportador de cationes de baja afinidad o transportador específico de calcio (LCT1), proteínas tipo CDF, al igual que canales y transportadores de Ca^{2+} .

Una vez dentro de la célula el cadmio puede coordinarse con ligandos de azufre como glutatión (GSH) o fitoquelatinas (PCs) y ácidos orgánicos como el citrato. Otras posibles moléculas responsables de la quelación del cadmio son pequeñas proteínas ricas en cisteína denominadas metalotioneínas. De esta forma, los complejos Cd-ligando pueden ser transportados al interior de la vacuola o a otras células.

Generalmente el cadmio tiende a acumularse principalmente en la raíz y esto es más marcado cuando se presentan altos contenidos de cadmio en la planta. ^(35, 36)

1.3.9.2 Interacción del plomo con la papa

El plomo no es un tóxico sistémico en el reino vegetal, ya que no se difunde por el sistema vascular de la planta y no contamina, o contamina poco las partes aéreas consumibles. Esta característica añadida a su efímera persistencia en las aguas,

contribuye a explicar su bajo poder de biomagnificación a través de la cadena alimentaria. En cambio, las hojas o los frutos se pueden ver más expuestos a este metal por la cercanía a las industrias o autopistas. ⁽³⁷⁾

➤ **Ingreso, transporte y acumulación del plomo**

El mucílago (segregado por la cofia) puede retener en sus cargas negativas cationes como el Pb^{+2} , previniendo la entrada de este metal al ápice radicular. Sin embargo, al ser biodegradado, el sistema radicular queda desprotegido y el plomo ingresa uniéndose con los grupos carboxilo del ácido urónico del mucílago.

Una posible vía del transporte del plomo a través de la membrana plasmática parece que es a través de los canales catiónicos de la misma, tales como los canales de calcio. Así mismo, el Ca^{+2} bloquea el transporte del Pb^{+2} dentro de la raíz, apreciando así una mayor acumulación del metal en esta parte.

El plomo se mueve en el apoplasto de la raíz en una forma radial a través del córtex y se acumula en la endodermis. La endodermis actuará como una barrera parcial para evitar el paso del metal hacia la parte aérea. Y es la banda de Caspari, que se encuentra en la endodermis, el responsable de restringir el transporte del plomo.

Se ha demostrado que el plomo se retiene más en la membrana citoplasmática que en la pared celular.

Así mismo, la distribución del plomo en la raíz dependerá de la concentración de plomo, resultando que a bajas concentraciones de plomo predomina el flujo de

iones plomo en el apoplasto, mientras que a altas concentraciones del metal la barrera funcional de la membrana plasmática es dañada y una gran cantidad de plomo ingresa al interior de las células. La pared celular y las vacuolas juntas suman 96% del plomo absorbido. ⁽³⁸⁾

1.3.10 Valores máximos permisibles de cadmio y plomo

El Codex Alimentarius, órgano intergubernamental conjunto de la FAO y la OMS, establece la norma CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Modificado 2015, con la finalidad de garantizar a la población alimentos inocuos y de calidad.

Es así, que el Codex Alimentarius establece niveles máximos permisibles de plomo y cadmio para la papa (*Solanum tuberosum*); estableciendo también la Ingesta Mensual Tolerable Provisional (IMTP) para el cadmio y la Ingesta Semanal Tolerable Provisional (ISTP) para el plomo. ⁽³⁹⁾

Tabla 6. Niveles establecidos por el CODEX STAN 193-1995 Revisión 2009 Mod. 2015

| | CADMIO | PLOMO |
|---|--------|-------|
| Límite máximo permisible (mg/kg) | 0.1 | 0.1 |
| IMTP* (mg/kg) | 0.025 | - |
| ISTP** (mg/kg) | - | 0.025 |

*Resultado utilizado para los contaminantes de los alimentos, como los metales pesados, que tienen propiedades acumulativas. Su valor representa la exposición humana mensual permisible a esos contaminantes, asociados de manera inevitable con el consumo de alimentos por lo demás sanos y nutritivos.

**Resultado utilizado para los contaminantes que tienen propiedades acumulativas cuya vida media en el cuerpo humano es muy prolongada. Su valor representa la exposición humana semanal permisible a un contaminante asociado de manera inevitable con el consumo de alimentos por lo demás sanos y nutritivos.

1.4 METALES PESADOS

Los metales pesados no pueden ser degradados (ni química, ni biológicamente) y, además, tienden a bioacumularse y a biomagnificarse (se acumulan en los organismos vivos alcanzando concentraciones mayores que la que alcanzan en los alimentos o medioambiente, y que estas concentraciones aumentan a medida que ascendemos en la cadena trófica), provocando efectos tóxicos de muy diverso carácter. ⁽⁴⁰⁾

1.4.1 CADMIO

El cadmio es un elemento no esencial para los sistemas biológicos, que se encuentra presente como contaminante en los alimentos, agua y aire (recorre grandes distancias en el agua y aire). Su presencia en la corteza terrestre es baja, así lo encontramos en la greencknita o sulfuro de cadmio (mineral que lo contiene en cantidad apreciable); por eso su presencia en el medio ambiente se debe principalmente a la contaminación antropogénica. ^(41, 42)

El cadmio entra en la alimentación humana con los vegetales y productos animales, siendo esta la fuente de exposición más importante para los individuos que no están expuestos ocupacionalmente. Los alimentos que presentan mayores concentraciones de cadmio son el pescado y los cereales, seguido de los tubérculos. Los frutos y semillas contienen menos cadmio que las hojas.

Se fija a las plantas más rápidamente que el plomo. ^(42, 43)

1.4.1.1 Propiedades fisicoquímicas

El cadmio es un metal pesado, de color blanco plateado, brillante, dúctil, maleable y resistente a la corrosión. Pertenece al grupo (IIB) de la Tabla Periódica y su símbolo es Cd. En sus compuestos actúa normalmente con el grado de oxidación II. Presenta un peso atómico de 48, masa atómica de 112.41, densidad de 8.642 g/cm⁻³, punto de fusión de 320.9 °C y punto de ebullición de 767 °C. El cadmio es insoluble en agua pero fácilmente soluble en ácidos minerales. ^(41, 44)

Se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y combinado con otros elementos como el oxígeno (óxido de cadmio), el cloro (cloruro de cadmio) o el sulfuro (sulfato o sulfuro de cadmio). Estos compuestos son solubles en agua. ⁽⁴⁵⁾

1.4.1.2 Fuentes y vías de exposición

De forma natural, el cadmio proviene de la descomposición de rocas y suelos (pequeñas cantidades), casi siempre asociado con el zinc, plomo, cromo y a las minas de cobre. Una pequeña parte de cadmio es liberada a la atmósfera a través de incendios forestales, formación de sales marinas, volcanes (mayor fuente de liberación natural) y en la quema de combustibles fósiles. ⁽⁴⁵⁾

Las actividades antropogénicas son responsables de la contaminación en el ambiente ocupacional así como de la contaminación en general. Entre estas fuentes de contaminación tenemos a la minería (puede causar las concentraciones más altas de cadmio, ya que se encuentra incorporado en diversos minerales) y la industria (como materia prima de baterías y colorantes o como parte de subproductos del proceso como la obtención de zinc). ⁽⁴⁶⁾

Los principales compuestos utilizados en la industria son: óxido, sulfuro, cloruro, bromuro y sulfato. Las industrias que han presentado mayor riesgo, por el uso de cadmio son: baterías acumuladoras, cables eléctricos, células fotoeléctricas, cloruro de polivinilo, colorantes de cadmio, equipos para ruedas, equipos nucleares, fusibles, joyería, laminados a vapor, soldadura, tapones de extinguidores. Otra fuente importante de emisión de cadmio, es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales, en los que parte de este metal se acumulará en el suelo, y otra parte se verterá a las aguas superficiales, provocando contaminación de la vida acuática. ^(46, 47, 48)

El cadmio se dispersa a través de:

- El aire: adherido como óxido de cadmio en pequeñas partículas y viaja grandes distancias antes de regresar a la tierra como polvo, lluvia o nieve.
- El suelo: la aplicación de ciertos fertilizantes o excremento de animales en las tierras de cultivo.
- El agua: sólo pequeñas cantidades llegan procedentes de los derrames o fugas en sitios de desechos peligrosos, aguas residuales industriales y domésticas. ⁽⁴⁵⁾

1.4.1.3 Toxicocinética

El cadmio aparece solamente en un estado de una valencia (+2). ⁽⁴⁹⁾

- **Absorción:** La absorción gastrointestinal del cadmio ingerido es aproximadamente de 2 % a 6% en condiciones normales. Las personas que poseen pocas reservas de hierro en su organismo y por lo tanto una baja concentración de ferritina en el suero, pueden presentar una absorción de cadmio

mucho mayor, de hasta un 20 % de la dosis ingerida. Así también, la absorción de cadmio puede ser mayor cuando hay deficiencia de calcio, proteínas y zinc. ^(50, 51)

La absorción por el aparato respiratorio es la más alta, 10 % - 50 % de las partículas inhaladas se depositan en la parte alveolar del pulmón y la mayor parte en el resto de la mucosa traqueobronquial, estas partículas son transportadas a la faringe y depositadas en el tracto gastrointestinal. En fumadores se ve incrementado, ya que el tabaco de un cigarrillo contiene de 1.5 ug a 2 ug. de cadmio, de los cuales el 70% pasa al humo y cerca del 60% de este llega al torrente sanguíneo. ^(45, 52)

La absorción percutánea ocurre solamente por contacto con los compuestos orgánicos del cadmio. ⁽⁵³⁾

- ***Distribución:*** El cadmio tras ser absorbido, se transporta al hígado, donde se une a la metalotioneína (proteína rica en residuos de cisteína cuya síntesis ocurre principalmente en hígado y riñón) presente en el mismo, e induce la síntesis de más metalotioneínas, que secuestra a su vez cadmio de otros sitios de unión, protegiendo las células hepáticas de su toxicidad. El cadmio unido a metalotioneína se transporta por la sangre hasta el riñón, donde se filtra a través del glomérulo y se reabsorbe por pinocitosis en el túbulo proximal, tras lo que el complejo cadmio-metalotioneína se cataboliza en los lisosomas, liberándose iones de cadmio que inducen nuevamente la síntesis de metalotioneína en la célula renal. El cadmio tiene una vida media muy larga. ⁽⁵⁰⁾

Así mismo, el cadmio atraviesa fácilmente la barrera placentaria, induce la síntesis de metalotioneína y forma el complejo que se acumula progresivamente en la placenta durante el embarazo. ⁽⁴⁵⁾

Se considera que un 80 % a un 90 % de la dosis total de cadmio que entra en el organismo se presenta unido a la metalotioneína. Esto evita que los iones de cadmio libres ejerzan su efecto tóxico.

Los riñones y el hígado presentan las concentraciones de cadmio más elevadas, ya que contienen cerca del 50 % de la carga corporal de cadmio. La concentración de cadmio en la corteza renal, antes de que se produzcan lesiones renales inducidas por este metal, es aproximadamente 15 veces superior a la concentración hepática. Otros órganos que acumulan cadmio son los músculos, el páncreas, las glándulas salivales y el sistema nervioso central, aunque en este último se presenta en muy bajas concentraciones. ^(46, 53)

Por tanto, la toxicidad del cadmio se neutraliza por almacenamiento a largo plazo más que por biotransformación o aumento de la eliminación. ⁽⁵⁰⁾

- **Excreción:** Una vez absorbido el cadmio se excreta escasa y muy lentamente, por eso la concentración de cadmio aumenta con la edad y el tiempo de exposición. La mayor parte del cadmio ingerido o inhalado y transportado, vía mucociliar al aparato digestivo (aprox. 95 %), no se absorbe debido a la escasa absorción a nivel gastrointestinal y se excreta en las heces. Tras la absorción la principal vía de eliminación de cadmio es a través de la orina, por lo que se

considera que el cadmio urinario refleja la carga corporal de cadmio. Por orina, diariamente se elimina 0.007 % del contenido corporal y por heces 0.03%. ^(50, 53)

1.4.1.4 Toxicodinamia

El cadmio es un xenobiótico y, por tanto, un metal tóxico y no esencial para el organismo, que se acumula en los tejidos humanos. El riñón es más sensible al cadmio que el pulmón e hígado y el epitelio del túbulo renal proximal es el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo”. A la vez hay alteración de la filtración glomerular por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas polianiónicas, lo que disminuye su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de peso molecular alto, que origina proteinuria de peso molecular alto. ⁽⁵³⁾

Tabla 7. Características toxicodinámicas del cadmio en humano.
Adaptado de Ramírez A., 2002. ⁽⁵²⁾

| | Tiempo |
|---|---------------|
| Vida media en nasofaringe y traqueo bronquios | < 24 horas |
| Vida media en sangre | 2.5 meses |
| Vida media en riñón | 4 a 60 años |
| Vida media en hígado | 4 a 19 años |
| Vida media en organismo total | 30 a 40 años |
| Promedio del periodo total de absorción | 14 días |
| Por ciento absorción gastrointestinal | 5% |
| Excreción urinaria: vida media | 10 a 40 años |
| Concentraciones biológicas críticas: Corteza renal: 367 µg/g (Rango: 200 a 400) <ul style="list-style-type: none"> • Riñón total: 2 a 20 mg • Hígado: de 30 a 42 µg/g • Orina: > 5 µg Cd / g de creatinina | |

1.4.1.5 Aspectos toxicológicos

Sólo se conocen efectos tóxicos del cadmio. Todos los seres humanos estamos expuestos a bajos niveles de cadmio y la aparición de efectos adversos y su severidad dependerán de la ruta de exposición, duración de la misma, forma química, dosis etc. El cadmio es tóxico para un gran número de órganos, siendo los órganos diana de su toxicidad los riñones así como el hueso y los pulmones.⁽⁵⁰⁾

De acuerdo al tipo de intoxicación tenemos:

1.4.1.5.1 Intoxicación aguda

Puede ser causada por una exposición severa; los síntomas son equivalentes a los de la gripe, en 24 horas se desarrolla generalmente un edema pulmonar agudo, el que alcanza su máximo en 3 días; si no sobreviene la muerte por asfixia, el problema puede resolverse en una semana.⁽⁵⁴⁾

La intoxicación puede ser consecuencia de la inhalación de polvos y vapores de cadmio (por lo común óxido de cadmio) o por la ingestión de sales de este metal.

Los primeros efectos tóxicos se deben a irritación local. Después de su ingestión se produce: náusea, vómito, sialorrea, diarrea, cefalea, mialgia, cólicos abdominales, daño hepático e insuficiencia renal; los productos de vómito y diarrea suelen ser sanguinolentos. La inhalación de gases causa sabor metálico en la boca, disnea, dolor torácico, tos con esputo espumoso o sanguinolento, astenia y dolor en las piernas. La exploración del tórax muestra estertores crepitantes. Más tarde disminuye la diuresis. La evolución de la enfermedad se indica por inicio de fiebre o por desarrollo de signos de consolidación pulmonar. A corto plazo, el cadmio es más tóxico si se inhala.^(49, 55)

1.4.1.5.2 Intoxicación crónica

La toxicidad crónica por cadmio tiende a ser progresiva. La exposición repetida a concentraciones más bajas de cadmio puede dar por resultado intoxicación crónica que se caracteriza por lesión pulmonar irreversible. También es probable que ocurra daño de los túbulos renales debido a la incapacidad de los riñones para filtrar con eficacia el cadmio.

En caso de una ingestión crónica por cadmio, los síntomas que presentan son los siguientes: nefrotoxicidad, hepatotoxicidad, osteomalacia, hipertensión, carcinogénesis, infertilidad, y neurotoxicidad. La concentración crítica de cadmio es de 200 mg. La dosis letal de cadmio es de 500 mg. ⁽⁵⁴⁾

- *Riñones:* El riñón es afectado después de exposición pulmonar o gastrointestinal. ⁽⁴⁹⁾

Las manifestaciones de la nefropatía inducida por cadmio incluyen proteinuria, aminoaciduria y glucosuria, frecuentemente acompañadas por un aumento del cadmio en orina. Las lesiones más importantes se producen en la corteza renal. ⁽⁵⁰⁾

- *Pulmones:* La consecuencia de la inhalación excesiva de vapores y polvos de cadmio es la pérdida de la capacidad respiratoria, con un incremento correspondiente en el volumen pulmonar residual. El síntoma más frecuente en individuos con neuropatía inducida por cadmio es la disnea. ⁽⁴⁹⁾

- *Hígado:* El daño hepático no se suele asociar con la exposición al cadmio oral, excepto en muy altos niveles de exposición. En los seres humanos, una dosis fatal de cadmio puede causar daño hepático pronunciado. ⁽⁵⁶⁾

- *Aparato cardiovascular:* Se han observado tasas elevadas de hipertensión arterial en regiones en donde el Índice de contaminación por cadmio es alto (aún sin precisar si el cadmio es el agente causal) ⁽⁵³⁾

- *Huesos:* Pudiera haber alguna interacción entre el cadmio, la nutrición y las osteopatías. Se han observado que en sujetos expuestos al cadmio en su ocupación, disminuyen las reservas corporales de calcio; este supuesto efecto del cadmio pudiera deberse a interferencias en la regulación del balance de calcio y fosfato por los riñones. ⁽⁴⁹⁾

Los efectos sobre el hueso aparecen luego del daño renal y parecen ser secundarios a los cambios en el metabolismo del calcio, fósforo y vitamina D. ⁽⁵⁰⁾

- *Efectos mutagénicos y teratogénicos:* Se han descrito alteraciones cromosómicas en estudios experimentales y en observaciones de personas expuestas prolongadamente al cadmio. No se han descrito hasta el momento alteraciones teratogénicas en los hijos de personas expuestas. ⁽⁵³⁾

Carcinogénesis: La exposición a cadmio en el lugar de trabajo ha sido relacionada con carcinogénesis en diversos tejidos, incluyendo pulmones, próstata, riñones y estómago en numerosos estudios epidemiológicos. El mecanismo no es del todo claro.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos (DHHS) considera al cadmio como un agente cancerígeno para el hombre: carcinógeno de categoría B. Se ha atribuido al cadmio un incremento en la incidencia del cáncer de próstata y del aparato respiratorio en trabajadores expuestos prolongadamente, principalmente a óxido de cadmio. Un número escaso de estudios indican asociación entre los niveles de cadmio de la comida o el agua de bebida y el cáncer de próstata. ^(50, 53)

1.4.1.5.3 Tratamiento

En caso de inhalación alejar al paciente de la fuente de exposición y tener cuidado de la presencia de edema pulmonar, administrando oxígeno humidificado si fuera necesario. En caso de ingestión del cadmio administrar leche albuminosa (leche con clara de huevo), poco a poco para aliviar irritación gastrointestinal. Administrar un laxante salino.

No está demostrada la eficacia de los quelantes, sin embargo, si la intoxicación es importantes y persisten los síntomas, algunos recomiendan la administración de EDTA cálcico sódico (CaNa_2EDTA) en dosis de 50-75 mg/kg/día, por vía intramuscular profunda o infusión intravenosa lenta, durante 5 días, sin exceder 500 mg/kg en total. ⁽⁵⁷⁾

El monoisoamil meso 2,3 dimecartosuccinato (Mi- ADMS) parece ser un agente quelante eficaz para reducir el cadmio en hígado y riñones cuando se administra en forma parental u oral.

Algunos fármacos quelantes que son beneficiosos para otros metales tóxicos no son la mejor opción ya que está demostrado que pueden aumentar la toxicidad del cadmio movilizándolo e incrementando sustancialmente las concentraciones renales y la toxicidad. ⁽⁵²⁾

1.4.2 PLOMO

El plomo es una sustancia tóxica que se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas del organismo, con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad.

La intoxicación por plomo recibe el nombre de saturnismo, asimismo, ocupa el primer lugar dentro de las intoxicaciones laborales en el ámbito mundial.

El uso generalizado del plomo ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública. ⁽⁵⁸⁾

1.4.2.1 Propiedades fisicoquímicas

El plomo es un elemento natural que se encuentra en el grupo 14 (IV A) de la tabla periódica. Su símbolo es Pb, su número atómico es 82 y su masa es 207.2 g/mol.

Es un metal maleable de color gris azulado. Su punto de fusión es 327.4 °C y su punto de ebullición es 1770 °C. Tiene una densidad de 11.35 g/ml. Es insoluble en agua. El plomo forma compuestos en los que su estado de oxidación es de 2+ y 4+, siendo el más común de ellos 2+. Es radiopaco y tiene una excelente resistencia a la corrosión en el aire, agua y suelo. ^(59, 60, 61)

1.4.2.2 Fuentes contaminantes

La principal vía de exposición para la población general es por la ingesta de comida y aire, mientras que la exposición ocupacional ocurre en los trabajadores de plantas de esmaltado e industrial de refinería, manufactura de baterías, plásticos y pinturas. ⁽⁵⁹⁾

- **Fuentes naturales**

El plomo está presente de forma natural en la corteza terrestre: se calcula en un 0.00002 % de la corteza terrestre. Así, lo encontramos como galena (PbS), grusita (PbCO₃) y anglesita (PbSO₄).

El plomo es liberado al aire por procesos naturales tales como la actividad volcánica, los incendios forestales, el deterioro de la corteza terrestre y el decaimiento radioactivo de radón. Estas contribuciones naturales son las de menor consecuencia ya que la vasta mayoría de plomo en la atmósfera resulta de la actividad humana.

El plomo entra al agua subterránea desde el deterioro natural de las rocas y los suelos, indirectamente de la lluvia y directamente desde fuentes industriales. ⁽⁶²⁾

- **Antropogénicas**

La mayor parte de las emisiones de plomo hacia la atmósfera proviene de actividades como la minería, la producción de materiales industriales y de la quema de combustibles fósiles.

El plomo se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos (soldaduras y cañerías) y en dispositivos para evitar irradiación con Rayos X.

Entre sus principales usos se encuentran los siguientes: antidetonante en gasolinas, fabricación de baterías, producción de municiones, fabricación de soldaduras, producción de pinturas, vidriado de utensilios de barro, tanques de almacenamiento, protección contra radiaciones ionizantes “g” y “x”, en computadoras, televisores y equipo médico (RMN), soldaduras para equipo de cómputo, cerámicas para tecnología de ultrasonido y lentes de alta precisión para láser y fibras ópticas ⁽⁶³⁾

1.4.2.3 Toxicocinética

Las dos principales vías de contaminación son la aérea y la oral; la vía dérmica es relativamente efectiva como barrera a la entrada del tóxico. ⁽⁶¹⁾

▪ **Absorción**

Después de la ingestión de plomo, este metal se absorberá dependiendo de la forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/o calcio, si hay gran ingesta de grasa o inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 % mientras que en el adulto es de 10%. ⁽⁶⁴⁾

Por vía inhalatoria, se da por la inhalación de vapores, humos y polvo fino. El paso del plomo del compartimento pulmonar a la sangre se da por difusión, tras la disolución de las partículas. La absorción por la exposición a nivel respiratorio es del 50% al 100%. Algunas de las condiciones que aumentan la absorción del plomo por esta vía son: sales solubles en grasas, presencia de solventes orgánicos, partículas finas, reducción de la humedad, aumento de la frecuencia respiratoria, aumento de temperatura, reducción de la mucosidad e inflamación pulmonar. El daño a la mucosa y a los alveolos por el hábito de fumar facilita el paso del plomo a la sangre.

La absorción por la piel solo tiene importancia en el contacto con compuestos orgánicos, como el tetraetilo de plomo. Algunos factores que pueden aumentar la absorción por esta vía son: sales solubles en grasas, presencia de solventes orgánicos, elementos abrasivos en la piel, humedad extrema, adelgazamiento de la piel, sudoración excesiva, aumento de temperatura y heridas. ⁽⁶⁵⁾

La transferencia transplacentaria de plomo en humanos se demuestra por la presencia de plomo en sangre de cordón umbilical. ⁽⁶⁶⁾

- ***Distribución y depósito***

Luego de su absorción, el plomo se distribuye en compartimentos. En primer lugar circula en sangre unido a los glóbulos rojos, el 95% del plomo está unido al eritrocito (hemoglobina del eritrocito), luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blancos de toxicidad, luego de 1 a 2 meses el plomo difunde a los huesos (principal lugar de depósito) donde es inerte y no tóxico. El metal puede movilizarse del hueso en situaciones como acidificación del pH sanguíneo, movilización del calcio óseo (acidosis, neoplasias, alteraciones metabólicas, etc.), inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada. El plomo cruza la placenta y la barrera hematoencefálica. ⁽⁶⁴⁾

La vida media del plomo en el organismo es variable, dependiendo del lugar donde se encuentra: 3 a 4 semanas si el metal se encuentra en sangre; de 4 semanas si se depositó en tejidos blandos y de 20 a 27 años si está en tejido óseo. ⁽⁵²⁾

- ***Excreción***

La excreción de plomo se hace por orina en un 76% y en heces 16%, siendo evidentemente la vía urinaria la más importante, aunque en menores cantidades se puede eliminar por el sudor, saliva y por la leche materna. Se excreta en cantidades muy mínimas como en las uñas y el pelo. ^(52, 65)

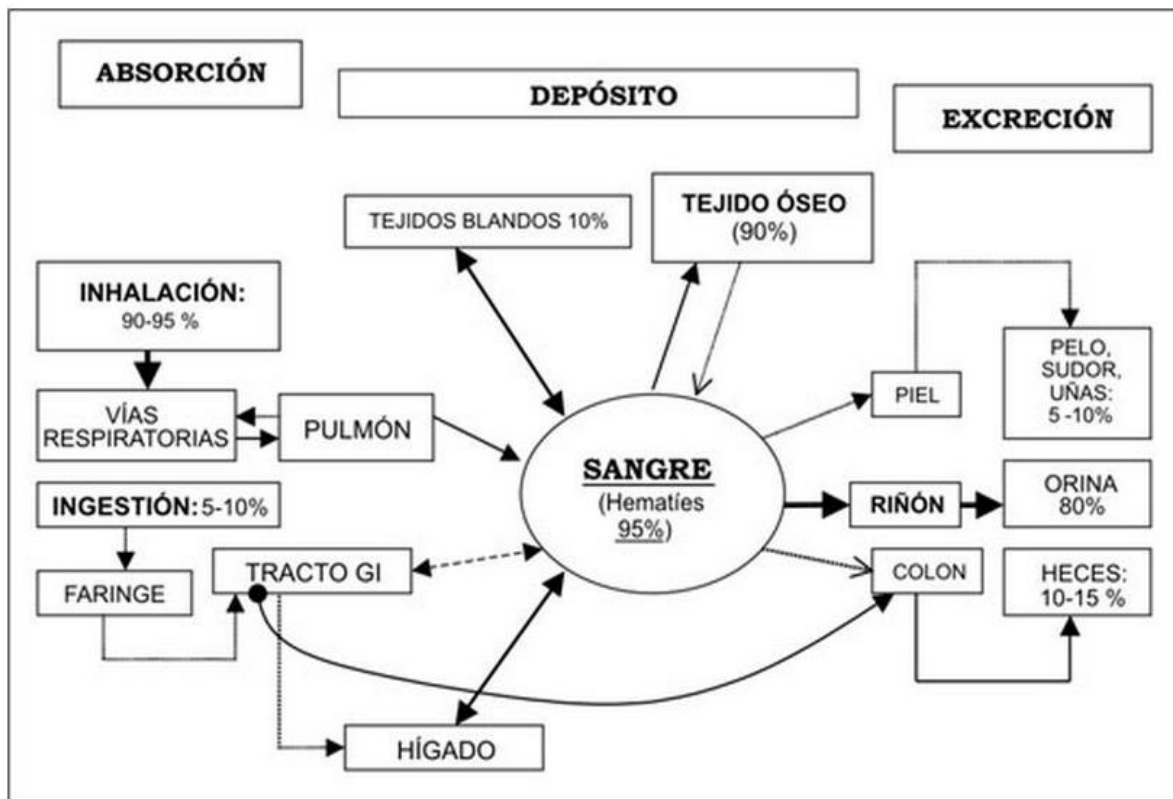


Figura 10. Toxicocinética del plomo.

1.4.2.4 Toxicodinamia

El plomo interfiere con el metabolismo del calcio, sobre todo cuando las concentraciones de calcio son bajas. Por ejemplo, el plomo inhibe la bomba de Na-K-ATPasa, lo que aumenta el calcio intracelular. Finalmente esta alteración a nivel del calcio traería consecuencias en la neurotransmisión y en el tono vascular lo que explicaría en parte la hipertensión y la neurotoxicidad.

La síntesis de hemo es influida por concentraciones muy pequeñas de plomo. Las enzimas necesarias para este fenómeno están distribuidas extensamente en los tejidos de mamíferos, es probable que cada célula sintetice su propio hemo. El plomo inhibe la formación de hemo en varios puntos, como se muestra en la Figura 11. ^(64, 67)

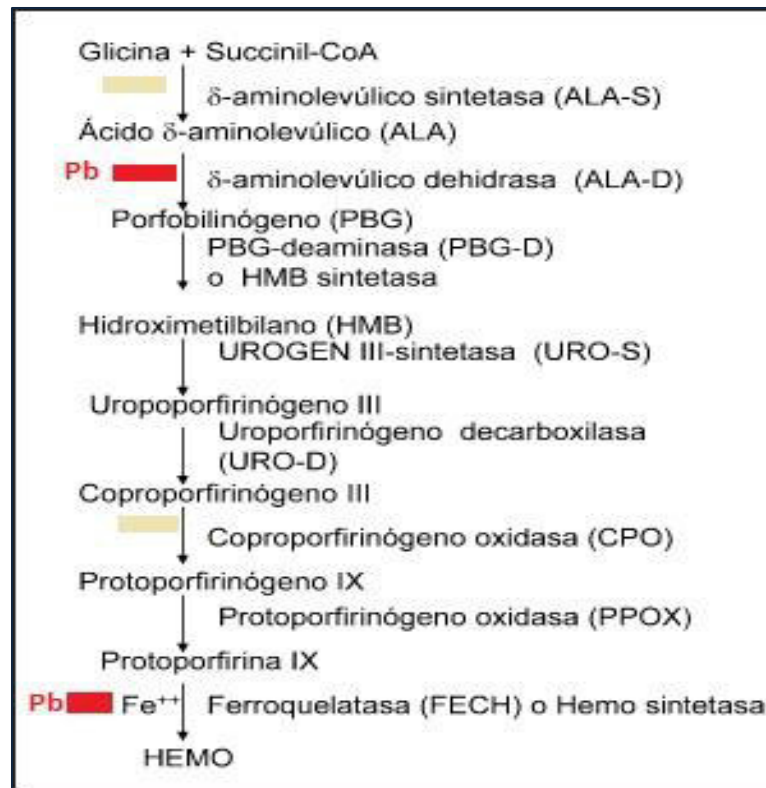


Figura 11. *Plomo inhibe la biosíntesis del hemo.*

1.4.2.5 Aspectos toxicológicos

1.4.2.5.1 Intoxicación aguda

Es la menos frecuente, generalmente es accidental y suele resultar de la inhalación de partículas de óxidos de plomo. Al principio se presenta un estado de anorexia con síntomas de dispepsia y estreñimiento y después un ataque de dolor abdominal generalizado, además de diarrea, sabor metálico en la boca, náuseas, vómito, lasitud, insomnio y debilidad. Los síntomas incluyen dolor tipo cólico gastrointestinal.

La encefalopatía aguda debido al plomo es rara en los adultos, pero si se ha dado en niños. Las formas más severas de la encefalopatía se desarrollan de repente

con pérdida de la estatura corporal y se puede presentar coma o paro respiratorio.⁽⁶³⁾

1.4.2.5.2 Intoxicación crónica

La intoxicación por plomo se llama plumbismo o saturnismo. Los signos y síntomas pueden dividirse en seis categorías: gastrointestinales, neuromusculares, del sistema nervioso central, hematológicos, renales y de otra índole. Pueden surgir de modo independiente o combinados. El síndrome del sistema nervioso central por lo regular es más frecuente en niños, en tanto que el gastrointestinal es más prevalente en adultos.⁽⁶⁷⁾

Se presenta generalmente por la adsorción de óxidos, carbonatos y otros compuestos solubles en agua a través del tracto digestivo. Otra vía de exposición es la inhalación como sucede en las fundiciones donde los trabajadores están expuestos a humos y polvos.⁽⁶³⁾

- *Efectos gastrointestinales:* se caracteriza por dolor abdominal intenso periumbilical que puede originar “abdomen en tabla”.⁽⁶⁷⁾
- *Efectos neuromusculares:* la principal alteración es una neuropatía periférica de predominio motor en los músculos de las extremidades; son bilaterales, indoloras y de evolución progresiva.⁽⁶⁷⁾

La debilidad muscular y la fatiga fácil aparecen mucho antes que la parálisis real, y pudieran ser los únicos síntomas. Una u otra pueden manifestarse después de actividad muscular prolongada. Por lo general, no hay afección sensorial.⁽⁶⁷⁾

- *Efectos en el sistema nerviosos central:* la encefalopatía saturnina es más frecuente en niños, se caracteriza por disminución del rendimiento escolar, deterioro del aprendizaje, puede llegar a producir cuadros convulsivos refractarios

a los tratamientos convencionales. Las alteraciones en el adulto se caracterizan más por un cuadro demencial, cefaleas, trastornos del sueño, trastornos de la visión, ataxia y trastornos del habla. ⁽⁶⁸⁾

- *Efectos hematológicos:* el principal signo es la anemia microcítica hipocrómica y la presencia de eritrocitos con punteado basófilo. La anemia microcítica hipocrómica se observa con mayor frecuencia en niños, y guarda semejanza morfológica con la anemia por deficiencia de hierro. ⁽⁶⁷⁾
- *Efectos renales:* la toxicidad renal se presenta en dos formas: un trastorno tubular reversible (suele observarse después de la exposición aguda de niños a plomo) y una nefropatía intersticial irreversible (se presenta con más frecuencia en la exposición industrial prolongada a plomo). La alteración de la función de los túbulos proximales se manifiesta como aminoaciduria, glicosuria e hiperfosfaturia (un síndrome parecido al de Fanconi). La hiperuricemia con gota aparece más a menudo en casos de nefropatía crónica por plomo que con cualquier otro tipo de nefropatía crónica. ⁽⁶⁷⁾
- *Otros efectos:* Otros signos y síntomas del plumbismo son el tono cenizo de la tez y palidez de los labios; moteado de retina; aspecto de “envejecimiento prematuro” (postura desgarbada, hipotonía muscular y emaciación), y la línea saturnina en el borde gingival (Ribete de Burton), que es negra, grisácea o azul muy oscuro. En varones expuestos a plomo se ha descrito un menor número de espermatozoides (hipospermia). ⁽⁶⁷⁾



Fuente: Revista Clínica Española.2001; 201:609-10 - Vol. 201 Num.10

Figura 12. Ribete de Burton.

Carcinogénesis: Se ha demostrado repetidamente que la exposición al plomo produce cáncer en animales de laboratorio (Categoría A3 American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH 1996). Estudios epidemiológicos han encontrado un aumento significativo para varios tipos de cáncer (estómago, pulmón y vejiga). Por ello, aún queda abierta todavía la cuestión de una eventual acción mutágena y cancerígena del plomo. ⁽⁶⁹⁾

1.4.2.5.3 Tratamiento

La intoxicación aguda de plomo es poco frecuente, y se corresponde con dosis potencialmente mortales (≥ 0.5 g). Debe ser tratada con carbón activado o lavado gástrico, dentro de la hora de la ingestión. También implica una terapia de apoyo que incluye fluidoterapia apropiada por vía intravenosa. Se debe vigilar la función renal y hepática y controlar las convulsiones.

En las intoxicaciones crónicas por plomo se debe alejar al paciente de la fuente de contaminación, controlar los síntomas y reducir la concentración del metal en el organismo, por medio de agentes quelantes. La terapia con quelante de debe administrar cuando el nivel de plomo en sangre del paciente (niño o adulto) es igual o mayor a 45 $\mu\text{g/dL}$.

Entre los quelantes tenemos:

- Edetato-Disódico-Cálcico (EDTA Ca) a dosis de 30-50 mg/kg/día. Este quelante ha sido asociado con la redistribución del plomo hacia tejido blando y cerebro, precipitando la encefalopatía; por lo que en estos casos se debe asociar en el tratamiento el quelante Dimercaprol (BAL).

- Ácido dimercaptosuccínico (DMSA). Tiene la ventaja de que provoca pocos efectos adversos y de que se usa por vía oral a dosis de 10 mg/Kg repartidos cada 8 horas por 5 días, luego cada 12 horas por 14 días más. Este quelante no redistribuye el plomo a cerebro.
- Penicilamina: por vía oral de 1 a 1.5g/día, 2 horas antes o 3 horas después de las comidas, durante 1 a 2 meses. ^(64, 70)

1.5 Marco Legal

1.5.1 Marco Legal Nacional

❖ **Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM del 13 de enero de 1996.**

“Aprueba los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos para las actividades minero – metalúrgicas”

La presente resolución establece los Niveles Máximos Permisibles de los elementos contenidos en los efluentes líquidos de la industria minero-metalúrgica con la finalidad de controlar los vertimientos producto de sus actividades y contribuir efectivamente a la protección ambiental.

Los efluentes Líquidos son los flujos descargados al ambiente, que provienen:

a) De cualquier labor, excavación o trabajo efectuado en el terreno, o de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales asociadas con labores, excavaciones o trabajos efectuados dentro de los linderos de la Unidad Minera.

b) De depósitos de relaves u otras instalaciones de tratamiento que produzcan aguas residuales.

c) De concentradoras, plantas de tostación, fundición y refinerías, siempre que las instalaciones sean usadas para el lavado, trituración, molienda, flotación, reducción, lixiviación, tostación, sinterización, fundición, refinación, o tratamiento de cualquier mineral, concentrado, metal, o subproducto.

d) De campamentos propios.

e) De cualquier combinación de los antes mencionados.

Dentro de los parámetros que se analizan en los efluentes líquidos tenemos: pH, sólidos suspendidos (mg/l), plomo (mg/l), cobre (mg/l), zinc (mg/l), fierro (mg/l), arsénico (mg/l) y cianuro total (mg/l). ⁽⁷¹⁾

❖ **DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM del 25 de marzo de 2015.**

“Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo”

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia.

Los ECA para Suelo son referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental, lo que incluye planes de descontaminación de suelos o similares.

En el anexo I se enumeran los estándares de calidad ambiental para el suelo, dentro de los cuales se aprecia parámetros con sustancias orgánicas e inorgánicas (plomo y cadmio entre ellos), así como los límites establecidos para ellos, dependiendo del uso del suelo y el método de ensayo.⁽⁷²⁾

❖ **Decreto Supremo 023-2009 – MINAM del 18 de diciembre del 2009**

“Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”

El MINAM establecerá los procesos, metodologías, lineamientos y planes necesarios para la revisión de los ECA para Agua, según corresponda; considerando las evidencias técnicas, los resultados de vigilancia, control y monitoreo de la calidad ambiental del agua, entre otros. Dicha acción la realizará de manera permanente y cuando el caso lo amerite.⁽⁷³⁾

1.5.2 Marco Legal Internacional

❖ ***Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos (Codex Stan 193-1995 Revisado 1999, Modificado 2015)***⁽³⁹⁾

Contiene los principios recomendados por el Codex Alimentarius en relación con los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos; se indican también los niveles máximos y planes de muestreo relacionados de los contaminantes y las sustancias tóxicas naturales que se encuentran en los alimentos y piensos que, por recomendación de la Comisión del Codex, deben aplicarse a los productos que circulan en el comercio internacional.

II. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Muestreo

En el mes de junio del 2015, se recolectó 40 muestras de papa, cada muestra tomada corresponde aproximadamente a 1 kilogramo de papas, las cuales proceden de cultivos cercanos a las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca, Perú.

Puntos de muestreo

El muestreo se realizó en 40 puntos (tomando como referencia a los poblados) cuyas zonas de cultivo son cercanos a:

- Cuenca del río Mashcón: la zona de muestreo se realizó en cultivos cercanos al río Mashcón y en sus dos principales afluentes: río Grande de Mashcón y río Porcón. Se recolectó 20 muestras.
- Cuenca del río Chonta: la zona de muestreo se realizó en cultivos cercanos al río Chonta y en sus tres principales afluentes: río Azufre, río Quinuario y río Grande de Chonta. Se recolectó 20 muestras.

Los puntos de muestreo se observan en la Figura 7.

2.2 Obtención y recolección de las muestras

Para el almacenamiento de las muestras se usaron bolsas de polietileno. Estas bolsas, previamente fueron lavadas con agua destilada, luego con ácido nítrico cc (1:1) y lavadas nuevamente con agua destilada. Después se dejaron secar al medio ambiente.

La recolección de las muestras se realizó directamente de las zonas de cultivo (chacras). Para esto, se retiraron las papas que se encontraban bajo tierra con un pico, se retiró la tierra que pudieran contener y se colocaron en las bolsas de polietileno (previamente tratadas).

En cada bolsa de polietileno se colocó 1 kilogramo de papa aproximadamente.

Para finalizar, cada bolsa de polietileno se selló inmediatamente luego de introducir las muestras y se procedió a codificar, de tal manera que se pueda identificar perfectamente el lugar de procedencia para la posterior cuantificación de plomo y cadmio.

Las bolsas de polietileno se identificaron con una etiqueta que contenía la siguiente información:

- ✓ Código de muestra: “#@M” y “#@C”.

- #: Símbolo de numeral.

- @: Número de muestra 1, 2, 3, 4...40.

- M: Letra para identificar la cuenca del río Mashcón.

- C: Letra para identificar la cuenca del río Chonta.

- ✓ Nombre del río.

- ✓ Nombre del pueblo, que será usado como referencia al punto de muestreo.

- ✓ Fecha de la toma de la muestra.

- ✓ Tipo de análisis requerido: “Determinación de plomo y cadmio”.

- ✓ Nombre de los responsables del muestreo.

Cuenca del río
Mashcón.



Cuenca del río
Chonta.

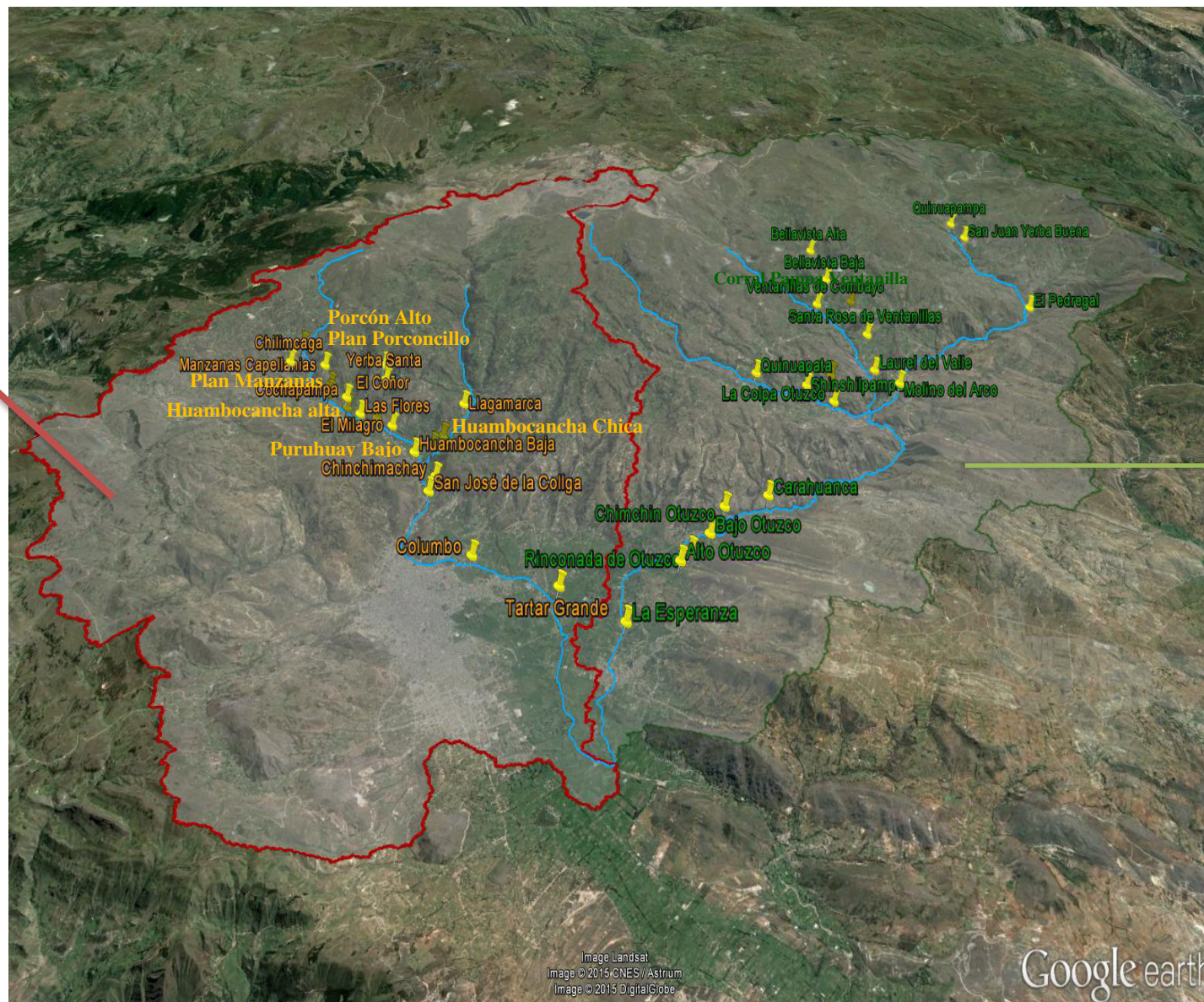
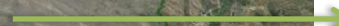


Figura 13. Puntos de muestreo en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta.

2.3 Método Analítico

El método analítico empleado en este estudio es la “Espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS)”, que se realizó en la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El procedimiento fue según la metodología para Metales GFAAS – USAQ-ME-15.

2.3.1 Fundamento del método

La espectrofotometría de absorción atómica se fundamenta en la absorción de una luz monocromática por los átomos del elemento que se va a analizar. La longitud de onda a la cual la luz es absorbida es específica de cada elemento a estudiar. Se mide la atenuación de la intensidad de la luz como resultado de la absorción, siendo la cantidad de luz absorbida proporcional a la cantidad de átomos del elemento presente en la muestra (absorbancia proporcional a la concentración de elemento).

El método involucra fundamentalmente 2 procesos: la atomización de la muestra que se realiza en el horno de grafito y la absorción de radiación proveniente de una fuente por los átomos libres. ⁽⁷⁴⁾

2.4 Materiales, reactivos y equipos

❖ Materiales:

- Fiolas 10 mL y 100 mL, clase A.
- Pipetas de 5 mL y 10 mL, clase A.
- Probetas de 100 mL

- Vaso de precipitado de 150 mL
- Lunas de reloj
- Crisoles de porcelana
- Pinzas de metal
- Bisturí

❖ **Reactivos:**

- Estándar certificado de plomo de 1000 mg/L
- Estándar certificado de Cadmio de 1000 mg/L.
- Ácido nítrico concentrado al 65% para análisis de trazas, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, ácido nítrico, 0.2 %: Medir 2 mL de ácido nítrico concentrado y llevar a una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua destilada.
- Ácido perclórico al 70%

❖ **Equipos:**

- Espectrofotómetro de absorción atómica: Marca SHIMADZU, modelo AA-6800.
- Horno de grafito: Marca SHIMADZU, modelo GFA-EX7.
- Inyector automático: Autosampler ASC-6100.
- Balón de Argón de 99.999% de pureza.
- Computadora
- Mufla
- Plancha térmica



Figura 14. *Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito.
Marca Shimadzu, Modelo AA6800. Laboratorio USA.*

2.5 Preparación de las muestras

Se escoge de la muestra inicial tres papas representativas, se lavan con agua de caño hasta eliminar toda la tierra que esté presente y se enjuaga con agua destilada. Se cortan las papas por la mitad y se raspa el corazón de ellas con un bisturí. Luego se tritura hasta homogeneidad.

Se pesa 5 g de muestra en un beacker de 150 mL y rápidamente se tapa con una luna de reloj para evitar que se oxide.

Se agrega 5 mL de ácido nítrico y 5 mL de agua destilada y se lleva a calentar haciendo uso de una plancha térmica a una temperatura de 70 °C (calentamiento moderado para evitar que se queme).

Se agita la muestra constantemente para eliminar completamente los vapores nitrosos y se lleva hasta sequedad.

Se deja enfriar y luego se le agrega 4 mL de ácido perclórico al 70 %, agitando constantemente hasta sequedad. Al enfriar se le agrega agua destilada para disolver el contenido del vaso.

Finalmente, se transfiere a una fiola de 25 mL agregando 2 gotas de ácido nítrico y se enrasa con agua destilada.

2.6 Análisis para cadmio y plomo

2.6.1 CADMIO

a). Programa del horno de grafito:

Tabla 8. Programación del horno de grafito para la lectura de cadmio.

| Etapa | Temperatura | Tiempo (segundos) | Gas |
|-------|-------------|-------------------|-------|
| 1 | 150 | 20 | Argón |
| 2 | 250 | 10 | Argón |
| 3 | 500 | 10 | Argón |
| 4 | 500 | 10 | Argón |
| 5 | 500 | 3 | Argón |
| 6 | 2200 | 2 | Argón |
| 7 | 2400 | 2 | Argón |

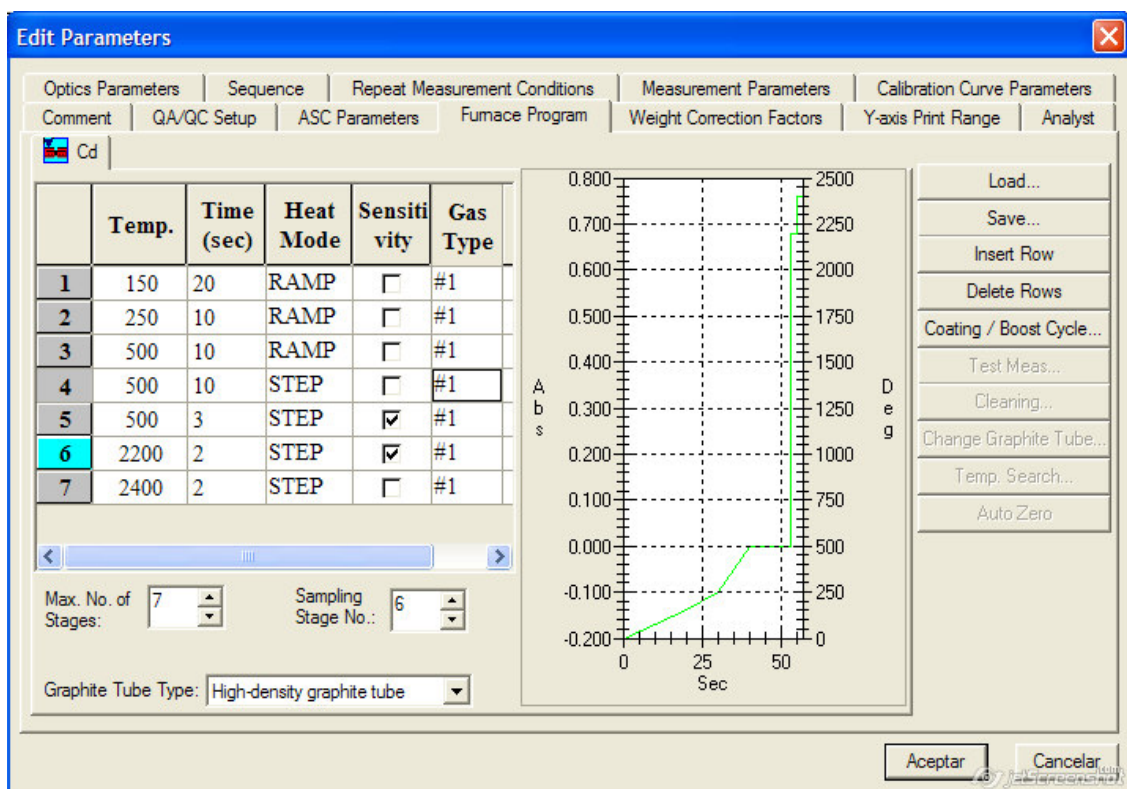


Figura 15. Programa del horno de grafito para la lectura de cadmio.

b). Condiciones instrumentales

Tabla 09. Condiciones de espectrofotómetro para la lectura de cadmio.

| Condiciones de espectrofotómetro | |
|---|---|
| Longitud de onda | 228.8 nm |
| Ranura (Slit) | 1.0 nm |
| Tipo de corrección | Corrección de fondo (Background) |
| Lámpara | BGC-D2 (Lámpara de deuterio) |
| Corriente de lámpara | 8 mA |
| Tubo de grafito | Tubo de grafito de alta densidad |
| Fuente de luz | Lámpara de cátodo hueco de cadmio |
| Medida de señal | Área de pico (A-As) |
| Volumen de muestra | 10 µL |
| Temperatura programa del horno de grafito | T° de secado: 150 °C T° de pre tratamiento: 500 °C T° de atomización: 2200 °C |
| Límite de detección | 0.02 ppb |

c). Obtención de la curva de calibración

Se usarán los estándares de calibración de 3 µg/L, 4 µg/L, 5 µg/L, 7 µg/L y 9 µg/L que el equipo preparó automáticamente a partir de un estándar de 10 µg/L.

Tabla 10. Concentración vs. Absorbancia

| Concentración (ppb) | Absorbancia |
|---------------------|-------------|
| 3.0000 | 0.2650 |
| 4.0000 | 0.3530 |
| 5.0000 | 0.4320 |
| 7.0000 | 0.5824 |
| 9.0000 | 0.7591 |

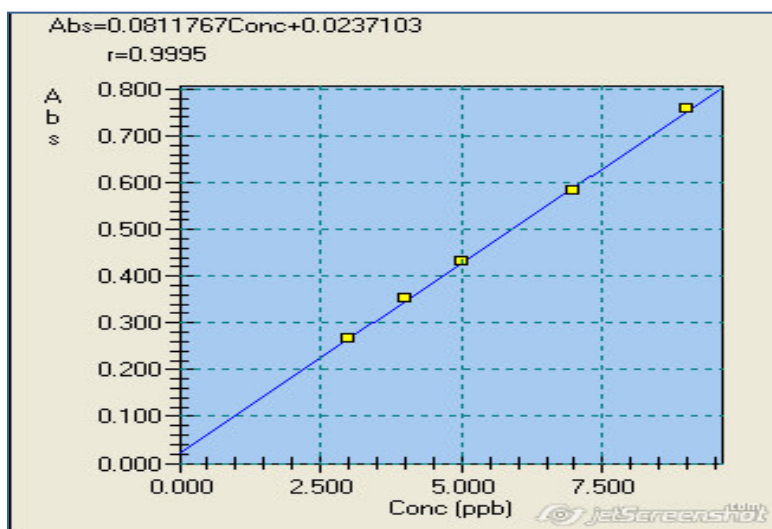


Figura 16. Curva de calibración del equipo para el cadmio

2.6.2 PLOMO

a). Programa del horno de grafito:

Tabla 11. Programación del horno de grafito para la lectura de plomo.

| Etapa | Temperatura | Tiempo (segundos) | Gas |
|-------|-------------|-------------------|-------|
| 1 | 150 | 20 | Argón |
| 2 | 250 | 10 | Argón |
| 3 | 800 | 10 | Argón |
| 4 | 800 | 10 | Argón |
| 5 | 800 | 3 | Argón |
| 6 | 2400 | 2 | Argón |
| 7 | 2500 | 2 | Argón |

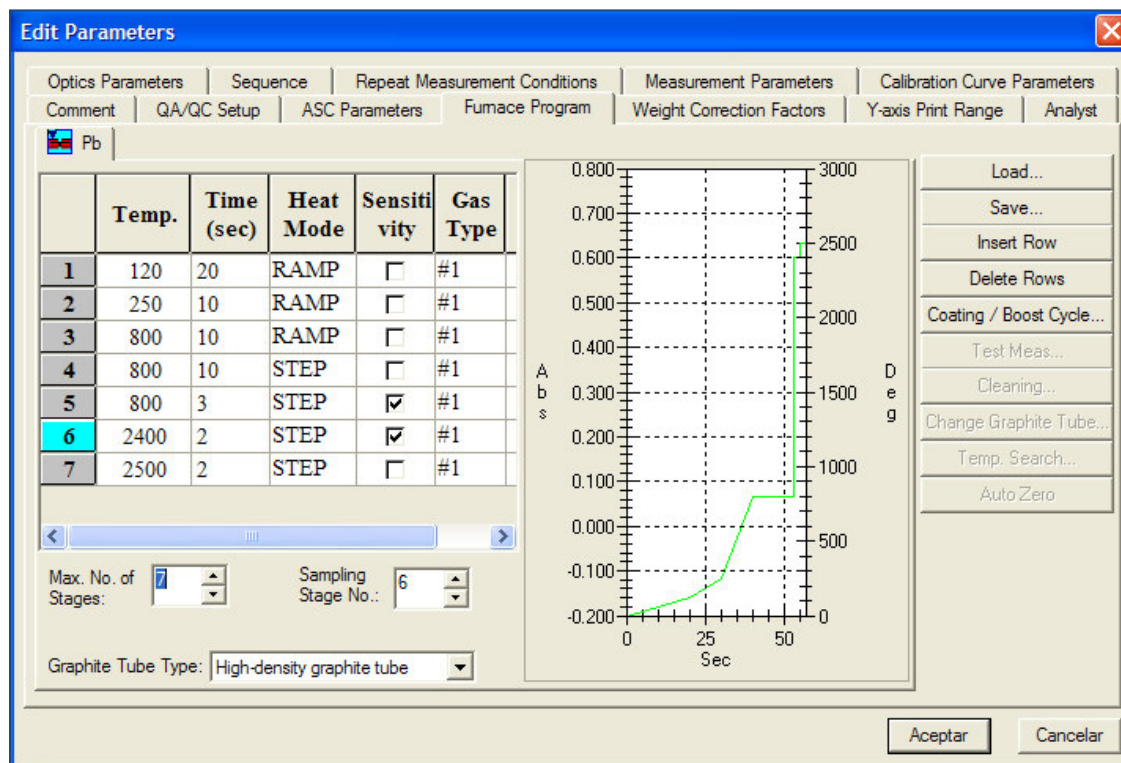


Figura 17. Programa del horno de grafito para la lectura de plomo

b). Condiciones instrumentales

Tabla 12. Condiciones de espectrofotómetro para la lectura de plomo.

| Condiciones de espectrofotómetro | | |
|---|---|--|
| Longitud de onda | 283.3 nm | |
| Ranura (Slit) | 0.5 nm | |
| Tipo de corrección | Corrección de fondo (Background) | |
| Lámpara | BGC-D2 (Lámpara de deuterio) | |
| Corriente de lámpara | 10 mA | |
| Tubo de grafito | Tubo de grafito de alta densidad | |
| Fuente de luz | Lámpara de cátodo hueco de plomo | |
| Medida de señal | Área de pico (A-As) | |
| Volumen de muestra | 20 µL | |
| Temperatura programa del horno de grafito | T° de secado: 120 °C T° de pre tratamiento: 800 °C T° de atomización: 2400 °C | |
| Límite de detección | 0.5 ppb | |

c). Obtención de la curva de calibración

Se usarán los estándares de calibración de 4 µg/L, 8 µg/L, 12 µg/L, 16 µg/L y 18µg/L que el equipo preparó automáticamente a partir de un estándar de 20ug/L.

Tabla 13. Concentración vs. Absorbancia

| Concentración (ppb) | Absorbancia |
|---------------------|-------------|
| 4.0000 | 0.0101 |
| 8.0000 | 0.0158 |
| 12.0000 | 0.0219 |
| 16.0000 | 0.0286 |
| 18.0000 | 0.0313 |

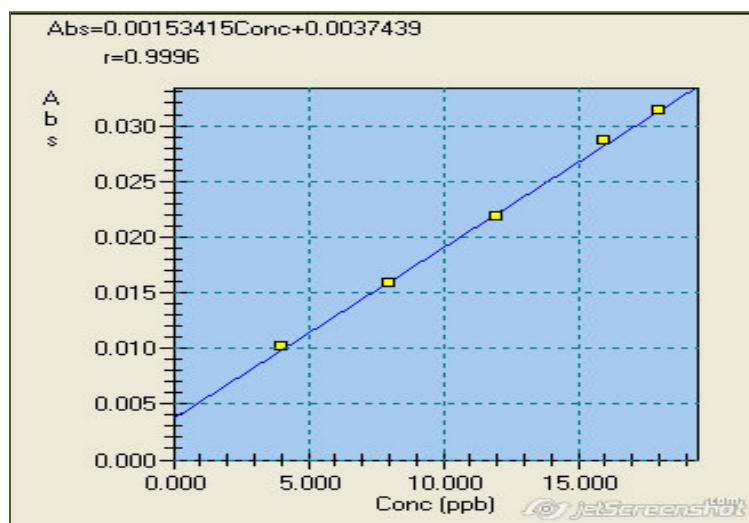


Figura 18. Curva de calibración del equipo para el plomo.

📊 **Análisis Estadístico:**

El análisis de datos se realizó consignando todos los valores de las determinaciones de las concentraciones de los metales en el programa Microsoft Office Excel 2010.

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS v17. La comparación entre las medias se desarrolló utilizando prueba *T-student* para muestras independientes, fijando el grado de significación en 0.05, donde cualquier valor menor a 0.05 será estadísticamente significativo.

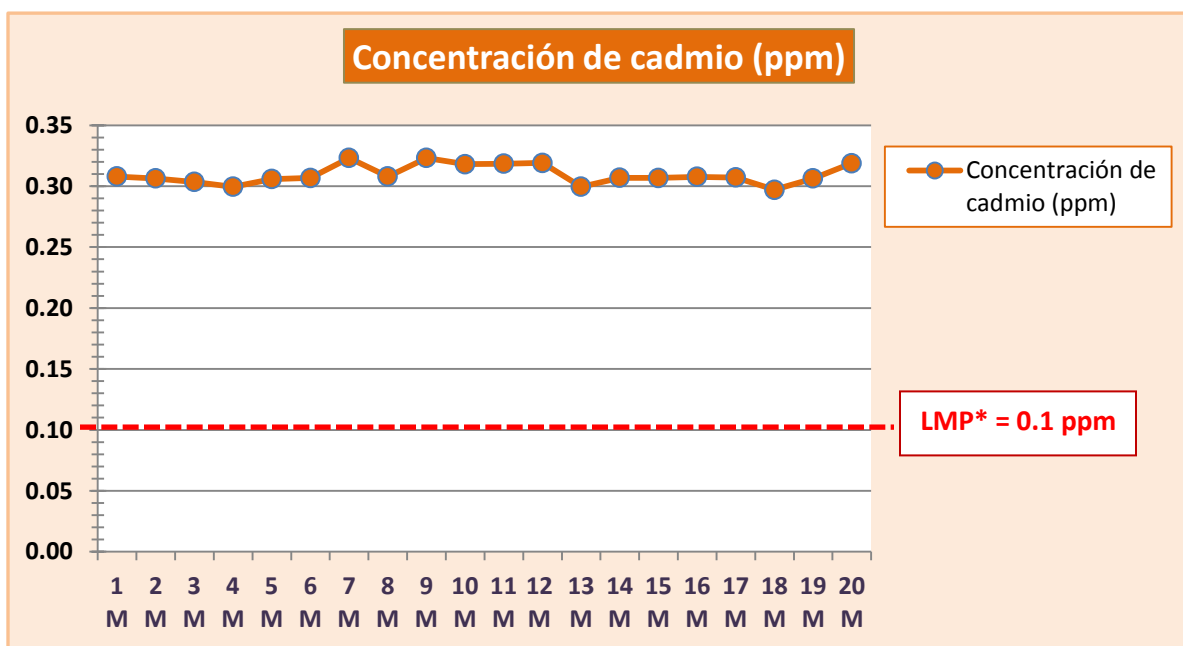
III. RESULTADOS

Tabla 14. Resultados generales de la determinación de cadmio y plomo en papa cosechada en los cultivos cercanos a la cuenca del río Mashcón– Cajamarca, Perú en el mes de junio de 2015.

| N° | Pueblo | Código de muestra | Concentración de cadmio (ppm) | Concentración de plomo (ppm) |
|----|-----------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Porcón Alto | # 1 M | 0.3079 | N.D. |
| 2 | Chilimcaga | # 2 M | 0.3064 | N.D. |
| 3 | Manzanas Capellánias | # 3 M | 0.3035 | N.D. |
| 4 | Plan Manzanas | # 4 M | 0.2995 | N.D. |
| 5 | Plan Porconcillo | # 5 M | 0.3059 | N.D. |
| 6 | Cochapampa | # 6 M | 0.3068 | N.D. |
| 7 | El Coñor | # 7 M | 0.3232 | N.D. |
| 8 | Yerba Santa | # 8 M | 0.3079 | N.D. |
| 9 | Porconcillo Bajo | # 9 M | 0.3232 | N.D. |
| 10 | Huambocancha Alta | # 10 M | 0.3181 | N.D. |
| 11 | Las Flores | # 11 M | 0.3185 | N.D. |
| 12 | El Milagro | # 12 M | 0.3191 | N.D. |
| 13 | Huambocancha Baja | # 13 M | 0.2995 | N.D. |
| 14 | Llagamarca | # 14 M | 0.3069 | N.D. |
| 15 | Huambocancha Chica | # 15 M | 0.3068 | N.D. |
| 16 | Puruay Bajo | # 16 M | 0.3077 | N.D. |
| 17 | Chinchimachay | # 17 M | 0.3071 | N.D. |
| 18 | San José de la Collga | # 18 M | 0.2971 | N.D. |
| 19 | Columbo | # 19 M | 0.3064 | N.D. |
| 20 | Tartar Grande | # 20 M | 0.3189 | N.D. |

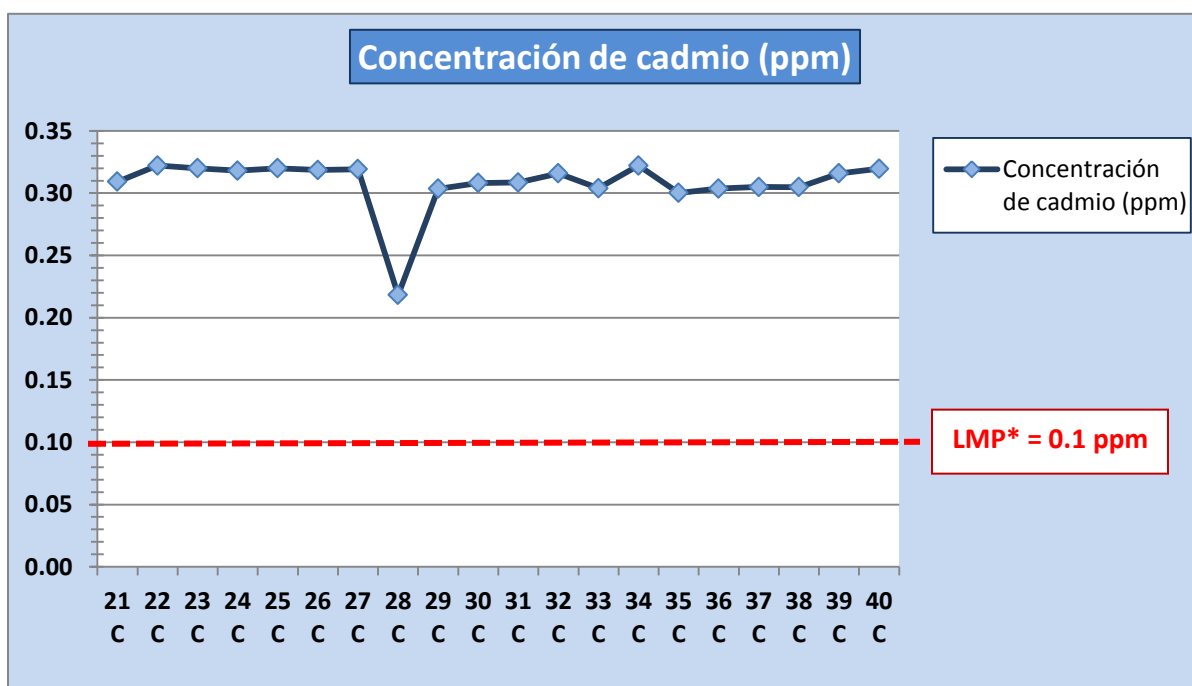
Tabla 15. Resultados generales de la determinación de cadmio y plomo en papa cosechada en los cultivos cercanos a la cuenca del río Chonta– Cajamarca, Perú en el mes de junio de 2015.

| N° | Pueblo | Código de muestra | Concentración de cadmio (ppm) | Concentración de plomo (ppm) |
|----|---------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Bellavista Alta | # 21 C | 0.3092 | N.D. |
| 2 | Bellavista Baja | # 22 C | 0.3222 | N.D. |
| 3 | Corral Pampa Ventanillas | # 23 C | 0.3200 | N.D. |
| 4 | Ventanillas de Combayo | # 24 C | 0.3181 | N.D. |
| 5 | Laurel del Valle | # 25 C | 0.3200 | N.D. |
| 6 | Chupicaloma | # 26 C | 0.3185 | N.D. |
| 7 | El Pedregal | # 27 C | 0.3192 | N.D. |
| 8 | San Juan Yerba Buena | # 28 C | 0.2182 | N.D. |
| 9 | Quinuapampa | # 29 C | 0.3035 | N.D. |
| 10 | Santa Rosa de Ventanillas | # 30 C | 0.3081 | N.D. |
| 11 | Molino del Arco | # 31 C | 0.3085 | N.D. |
| 12 | Quinuapata | # 32 C | 0.3159 | N.D. |
| 13 | Shinshilpampa | # 33 C | 0.3039 | N.D. |
| 14 | La Colpa Otuzco | # 34 C | 0.3222 | N.D. |
| 15 | Carahuanca | # 35 C | 0.3002 | N.D. |
| 16 | Chimchin Otuzco | # 36 C | 0.3036 | N.D. |
| 17 | Bajo Otuzco | # 37 C | 0.3049 | N.D. |
| 18 | Rinconada de Otuzco | # 38 C | 0.3048 | N.D. |
| 19 | Alto Otuzco | # 39 C | 0.3159 | N.D. |
| 20 | La Esperanza | # 40 C | 0.3196 | N.D. |



*LMP: Límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius para papa, 0.1 ppm.

Figura 19. Concentración de cadmio en papa cosechada en la cuenca del río Mashcón

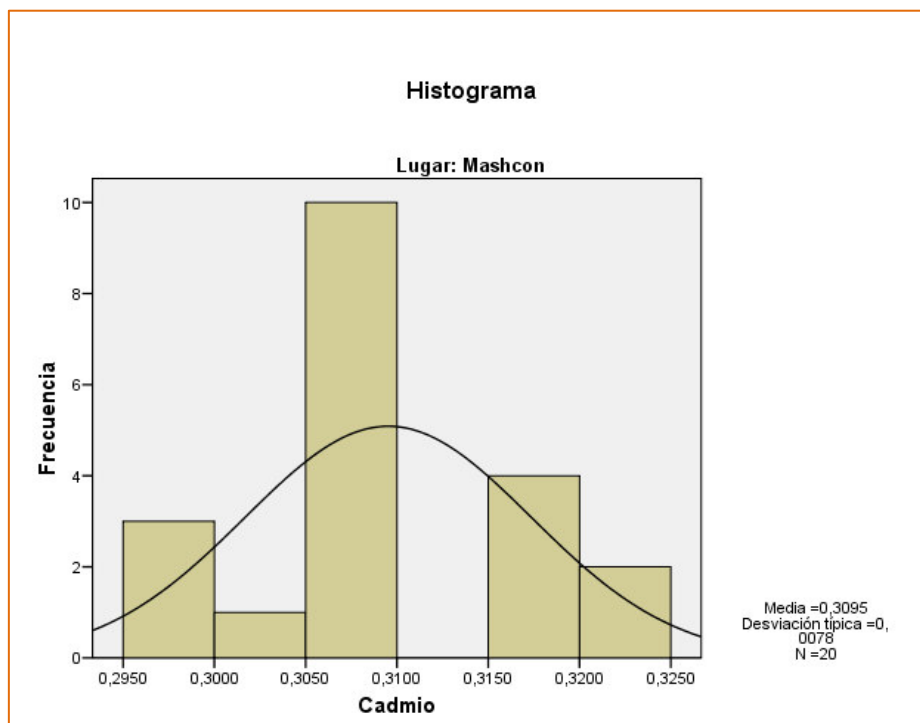


*LMP: Límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius para papa; 0.1 ppm.

Figura 20. Concentración de cadmio en papa cosechada en la cuenca del río Chonta.

Tabla 16. Datos estadísticos de las concentraciones de cadmio en la cuenca del río Mashcón.

| | | |
|-------------------------------------|----|------------|
| Muestra (N) | | 20 |
| Media (\bar{X}) | | 0.3095 ppm |
| Mediana (M_e) | | 0.3070 ppm |
| Moda (M_o) | | 0.2995 ppm |
| Desviación estándar (S) | | 0.0078 ppm |
| Mínimo (Min) | | 0.2971 ppm |
| Máximo (Max) | | 0.3232 ppm |
| Percentiles | 25 | 0.3060 ppm |
| | 75 | 0.3184 ppm |

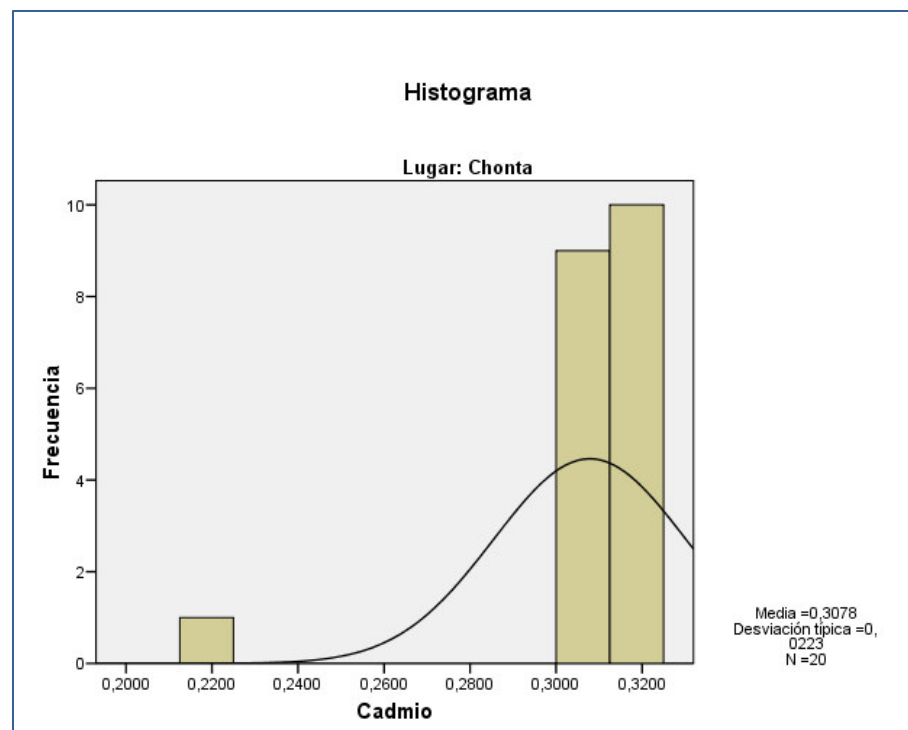


Fuente: Elaboración propia con programa SPSS v.17

Figura 21. Frecuencia vs. Concentración de cadmio en la cuenca del río Mashcón.

Tabla 17. Datos estadísticos de las concentraciones de cadmio en la cuenca del río Chonta.

| | | |
|-------------------------|----|-----------|
| Muestra (n) | | 20 |
| Media (\bar{X}) | | 0.3078ppm |
| Mediana (M_e) | | 0.3126ppm |
| Moda (M_o) | | 0.3159ppm |
| Desviación estándar (S) | | 0.0223ppm |
| Mínimo (Min) | | 0.2182ppm |
| Máximo (Max) | | 0.3222ppm |
| Percentiles | 25 | 0.3041ppm |
| | 75 | 0.3195ppm |



Fuente: Elaboración propia con programa SPSS v.17

Figura 22. Frecuencia vs. Concentración de cadmio en la cuenca del río Chonta.

Tabla 18. Comparación de los valores de cadmio obtenidos en la cuenca del río Mashcón y en la cuenca del río Chonta.

| Cuenca del río | N | Media | Desviación estándar | T ⁺ | P* |
|----------------|----|------------|---------------------|----------------|------|
| Chonta | 20 | 0.3078 ppm | 0.0223 ppm | 0.3 | 0.75 |
| Mashcón | 20 | 0.3095 ppm | 0.0078 ppm | | |

⁺Prueba de T-student para muestras independientes.

*Si $P < 0.05$ existen diferencias significativas.

$P=0.75 > 0.05$, entonces no se encontró diferencias significativas.

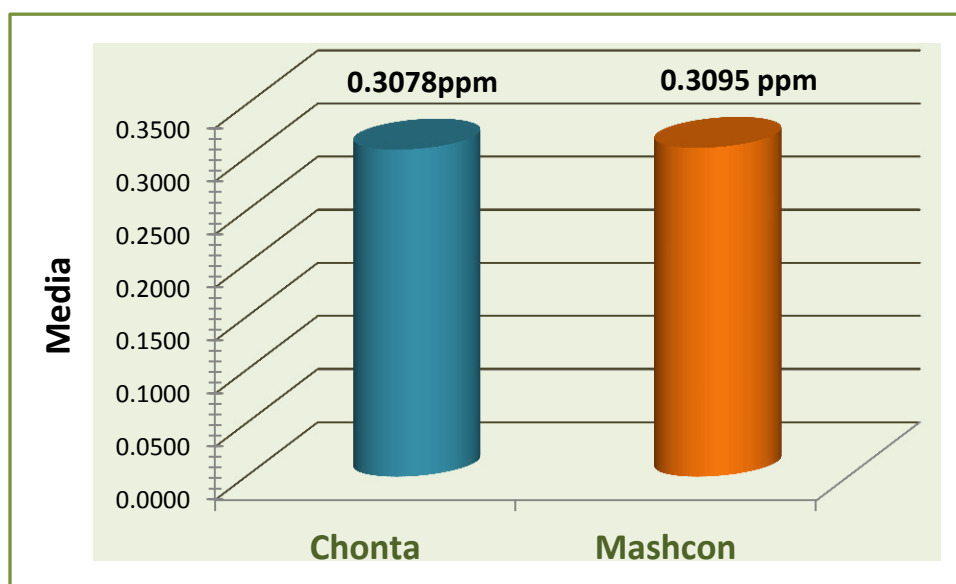


Figura 23. Comparación de los valores de la media de las concentraciones de cadmio obtenidos en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta.

Tabla 19. Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del río Mashcón según el valor LMP**.

| | N | Media | Desviación estándar | Valor de prueba =0.1** | |
|--------|----|--------|---------------------|------------------------|--------|
| | | | | T+ | P* |
| Cadmio | 20 | 0.3095 | 0.007 | 119 | 0.0000 |

+Prueba de T-student.

*Si $P < 0.05$ existen diferencias significativas.

$P=0.0000 < 0.05$, se encontró diferencias significativas.

**LMP: Límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius para la papa; 0.1 ppm.

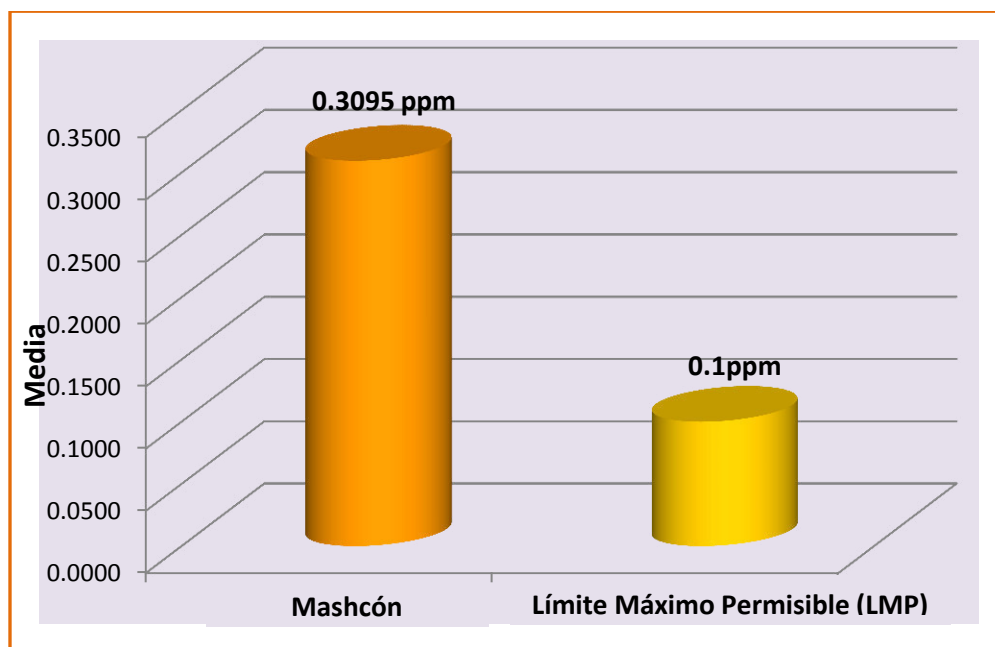


Figura 24. Comparación entre la media de las concentraciones de cadmio obtenidos en la cuenca del río Mashcón y el LMP.

Tabla 20. Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del río Chonta según el valor LMP**.

| | N | Media | Desviación estándar | Valor de prueba =0.1** | |
|---------------|----|--------|---------------------|------------------------|--------|
| | | | | T ⁺ | p* |
| Cadmio | 20 | 0.3078 | 0.0223 | 41 | 0.0000 |

+Prueba de T-student.

*Si $P < 0.05$ existen diferencias significativas.

$P=0.0000 < 0.05$, se encontró diferencias significativas.

**LMP: Límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius para la papa; 0.1 ppm.

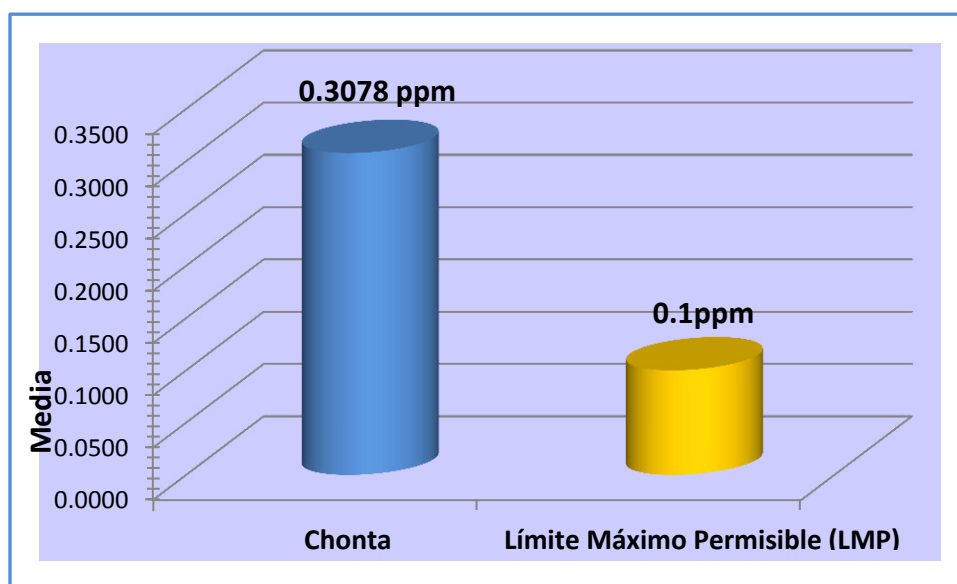


Figura 25. Comparación entre la media de las concentraciones de cadmio obtenidos en la cuenca del río Chonta y el LMP.

Tabla 21. Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del río Mashcón con el promedio del total de muestras.

| | N | Media | Desviación estándar | T+ | P* |
|-------------------|----|------------|---------------------|--------|--------|
| Total de muestras | 40 | 0.3087 ppm | 0.0166 ppm | 0.2163 | 0.8295 |
| Mashcón | 20 | 0.3095 ppm | 0.0078 ppm | | |

+Prueba de T-student.

*Si $P < 0.05$ existen diferencias significativas.

$P=0.8295 > 0.05$, entonces no se encontró diferencias significativas.

Tabla 22. Comparación de los valores del cadmio obtenido de la cuenca del río Chonta con el promedio del total de muestras.

| | N | Media | Desviación estándar | T+ | P* |
|-------------------|----|------------|---------------------|--------|--------|
| Total de muestras | 40 | 0.3087 ppm | 0.0166 ppm | 0.1658 | 0.8689 |
| Chonta | 20 | 0.3078 ppm | 0.0223 ppm | | |

+Prueba de T-student.

*Si $P < 0.05$ existen diferencias significativas.

$P=0.8689 > 0.05$, entonces no se encontró diferencias significativas.

Tabla 23. *Porcentaje de muestras de papas con cadmio que superan el límite máximo permisible según los valores del Codex Alimentarius en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta.*

| Límite Máximo Permisible (LMP)* | Cuenca del río Mashcón | | Cuenca del río Chonta | |
|------------------------------------|------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | Número de muestras | Porcentaje | Número de muestras | Porcentaje |
| Superan el LMP | 20 | 100% | 20 | 100 % |
| No superan el LMP | 0 | 0 % | 0 | 0 % |
| TOTAL | 20 | 100% | 20 | 100% |

*LMP: Límite máximo permisible establecido por el Codex Alimentarius para la papa; 0.1 ppm.

Tabla 24. *Valores de plomo en papas cosechadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta.*

| Cuencas | Valores |
|------------------------|---------|
| Cuenca del río Chonta | N.D.* |
| Cuenca del río Mashcón | N.D.* |

*N.D.: NO DETECTABLE

Límite de detección para el plomo: 0.5 ppb. (Ver Anexo 1)

IV. DISCUSIÓN

Se evaluó las concentraciones de cadmio y plomo en la papa por el alto grado de toxicidad de estos metales y por ser la papa uno de los alimentos más consumidos por la población en esta región y en nuestro país.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación han determinado la concentración de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*), en 40 muestras que provienen de cultivos cercanos a las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta en la provincia de Cajamarca; en los que se ha evidenciado la presencia de cadmio pero no de plomo (Tabla 14 y Tabla 15).

Las concentraciones de plomo en las papas cosechadas de las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta no pudieron ser detectadas debido a la sensibilidad del equipo para este metal (Límite de detección: 0.5 ppb). (Ver Tabla 24 y Anexo 1).

De las 20 muestras de papa obtenidas en la cuenca del río Mashcón, se observó que la concentración media (\bar{x}) de cadmio en las papas fue de 0.3095 ppm \pm 0.0078 ppm con valores extremos de 0.2971 ppm y 0.3232 ppm; asimismo el 50% de las muestras, es decir al menos 10 de ellas, presentan valores menores o iguales a 0.3070 ppm, el 25% tienen valores menores de 0.3060 y el 75% tienen valores menores de 0.3184 (Tabla 16 y Figura 21).

De las 20 muestras de papa obtenidas en la cuenca del río Chonta, se observó que la concentración media (\bar{x}) de cadmio en las papas fue de 0.3078 ppm \pm 0.0223 ppm con valores extremos de 0.2182 ppm y 0.3222 ppm; asimismo el 50% de las muestras, es decir al menos 10 de ellas presentan valores menores o

iguales a 0.3126 ppm, el 25% tienen valores menores de 0.3041 y el 75% tienen valores menores de 0.3195 (Tabla 17 y Figura 22).

En la Tabla 18 se aprecia que la media de los valores de cadmio en la cuenca del río Chonta es de 0.3078 ppm \pm 0.0223 ppm y la media de los valores del cadmio en la cuenca del río Mashcón es de 0.3095 ppm \pm 0.0078 ppm. Para saber si hay diferencia significativa entre los valores de estas dos cuencas se aplicó la Prueba T-student a las medias, el cual dio un **valor p=0.75**, con lo que se puede afirmar que no hay diferencias significativas entre las concentraciones de cadmio presentadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta (Figura 23).

En la Figura 19 se puede apreciar que todas las concentraciones de cadmio de las 20 muestras recolectadas en la cuenca del río Mashcón superan el Límite Máximo Permisible (LMP) establecido por el Codex Alimentarius, que es de 0.1 ppm. Para complementar esta afirmación se realizó la prueba T-student, comparando la media de las concentraciones de cadmio (0.3095 ppm \pm 0.007 ppm) con el LMP (0.1 ppm), determinándose que sí hay diferencias significativas entre ambos (**valor p=0.000**) (Tabla 19).

En el Figura 20 se puede apreciar que todas las concentraciones de cadmio de las 20 muestras recolectadas en la cuenca del río Chonta superan el Límite Máximo Permisible (LMP) establecido por el Codex Alimentarius, que es de 0.1 ppm. Para complementar esta afirmación se realizó la prueba T-student, comparando la media de las concentraciones de cadmio (0.3078 ppm \pm 0.0223 ppm) con el LMP

(0.1 ppm), determinándose que sí hay diferencias significativas entre ambos (**valor $p=0.000$**) (Tabla 20).

En la Tabla 21 podemos apreciar que no hay diferencias significativas entre el promedio de las concentraciones de la cuenca del río Mashcón en comparación con el promedio de las concentraciones del total de muestras (**$p=0.8295$**).

En la Tabla 22 podemos apreciar que no hay diferencias significativas entre el promedio de las concentraciones de la cuenca del río Chonta en comparación con el promedio de las concentraciones del total de muestras (**$p=0.8689$**).

En la Tabla 23 se observa que el 100 % de las concentraciones de cadmio obtenidas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta superan el Límite Máximo Permisible (0.1ppm) establecido por el Codex Alimentarius.

Estos altos niveles homogéneos de cadmio encontrados en todas las muestras podrían evidenciar que los niveles de cadmio en el suelo son elevados, ya que el cadmio se distribuye homogéneamente en el suelo cuando los niveles de este metal se encuentran en altas concentraciones. ⁽⁷⁵⁾

Los elevados niveles de cadmio en papa pueden deberse a diversos factores como: la presencia natural del metal en la corteza terrestre, influenciado por la naturaleza volcánica y el pH ácido que presentan los suelos en estas cuencas o a la propia actividad del hombre (utilización de fertilizantes fosfatados, contaminación propia de la minería).

V. CONCLUSIONES

1. El valor promedio de las concentraciones de cadmio en las papas cosechadas de la cuenca del río Mashcón es de $0.3095 \text{ ppm} \pm 0.0078 \text{ ppm}$. No se detectaron concentraciones de plomo (Límite de detección del equipo para este metal: 0.5 ppb).
2. El valor promedio de las concentraciones de cadmio en las papas cosechadas de la cuenca del río Chonta es de $0.3078 \text{ ppm} \pm 0.0223 \text{ ppm}$. No se detectaron concentraciones de plomo (Límite de detección del equipo para este metal: 0.5 ppb).
3. No hay una diferencia significativa en las concentraciones de cadmio entre la cuenca del río Mashcón y la cuenca del río Chonta. No se comparó las concentraciones de plomo porque no se detectó este metal en las muestras.
4. El 100% de las muestras de papa superan el Límite Máximo Permissible (LMP= 0.1 ppm) de cadmio en la cuenca del río Mashcón y en la cuenca del río Chonta.

VI. RECOMENDACIONES

1. En nuestro país no hay una norma que regule la concentración de elementos tóxicos en los alimentos, por eso sería necesario una intervención por parte de los organismos nacionales para un mayor control e implementación de las medidas necesarias para asegurar que los productos alimenticios que consumimos no contienen estos metales.
2. En la zona de estudio no se han encontrado referencias sobre investigaciones realizadas a los suelos, por este motivo se recomienda realizar estudios de suelos para determinar el nivel de contaminación y la influencia que ejercen sobre los alimentos.
3. Llevar a cabo estudios sobre el uso de fertilizantes fosforados en las tierras de cultivo de esta zona, ya que como se sabe, este tipo de fertilizante incrementa los niveles de cadmio en el suelo.
4. Determinar la concentración de cadmio y plomo en papas cosechadas en las cuencas de los ríos Rejo y Quebrada Honda, que también son influenciadas por la minera Yanacocha. Así mismo, determinar las concentraciones de metales pesados en papa y en otros alimentos de mayor consumo en zonas cercanas a las cuencas de Mashcón y Chonta.
5. Realizar estudios epidemiológicos en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta, debido a los niveles de cadmio encontrados en la papa, que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles establecido por el Codex Alimentarius (0.1 ppm), y así establecer si hay alguna relación con las enfermedades presentadas en la zona.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arana Z. Resolución de Conflictos Medioambientales en la Microcuenca del Río Porcón, Cajamarca 1993-2002. [Tesis para optar el grado de Maestría en Sociología]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. 2002.
2. Ministerio del Ambiente. Ley General del Ambiente. Ley N° 28611. 15 de octubre de 2005.
3. Barenys M, Boix N, Farran CA, Palma LI, Montserrat R, Curto A, et al. Heavy metal and metalloids intake risk assessment in the diet of a rural population living near a gold mine in the Peruvian Andes (Cajamarca). Food and Chemical Toxicology. 2014; 71: 254–263.
4. Compliance Advisor/Ombudsman (CAO), La Mesa de Diálogo y Consenso CAO-Cajamarca. Evaluación de la calidad del agua en Cajamarca, Perú. Informe Anual de Monitoreo 2004-2005. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Disponible en: <http://www.cao-ombudsman.org/cases/document-links/documents/EvaluaciondeLaCalidaddelAgua2004-2005.pdf>
5. Cédula de Notificación N°12-2014 del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), con la que se notifica la Resolución Directoral N°018-2014-OEFA/DS, el 18 de diciembre del 2014.
6. Rodríguez D, Villegas M. “Determinación y comparación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada según la distancia al Complejo Metalúrgico DOE RUN PERÚ en la Oroya”. [Tesis para optar el título profesional de Químico Farmacéutico]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. 2011.
7. Municipalidad Provincial de Cajamarca. Estudio de factibilidad - Presa Chonta Proyecto de regulación de las aguas del río Chonta mediante la presa Chonta. Cajamarca. Consorcio Salzgitter – SISA; marzo 2010. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Disponible en: <http://181.65.172.167/sialcajamarca/public/docs/743.pdf>

8. Intendencia de Recursos Hídricos y la Administración del Distrito de Riego Cajamarca. Inventario participativo de fuentes de agua superficial de la cuenca del río Chonta. Cajamarca. Ministerio de Agricultura-INRENA; julio 2007. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Disponible en:
http://www.ana.gob.pe/media/293440/fuentes_agua_superficial_chonta.pdf
9. Intendencia de Recursos Hídricos y la Administración del Distrito de Riego Cajamarca. Inventario participativo de fuentes de agua superficial de la cuenca del río Mashcón. Cajamarca. Ministerio de Agricultura-INRENA; julio 2007. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Disponible en:
http://www.ana.gob.pe/media/293513/fuentes_agua_superficial_mashcon.pdf
10. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI. Informe Técnico: Evaluación de las características hidrológicas en los ríos Porcón y Grande de la provincia de Cajamarca. Setiembre 2011. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015].
Disponible en: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/est_InfhidPorconGr-2.pdf
11. Banco Central de Reserva del Perú. [Sede Web]. Trujillo; 2014. [Fecha de acceso 30 de setiembre de 2015]. Caracterización del departamento de Cajamarca. Disponible en:
<http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/cajamarca-caracterizacion.pdf>
12. Municipalidad Provincial de Cajamarca. Plan de Desarrollo Concertado (PDC) Provincia de Cajamarca al 2021. Cajamarca. 2013. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Disponible en:
http://www.municaj.gob.pe/webmpc/archivos/presupuestal/pdc_2021.pdf
13. Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP)-Perú. [Sede Web]. Noviembre de 2011. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Análisis Territorial: Cajamarca. Boletín: Política de inversiones. Disponible en:
http://www.snip.gob.pe/contenidos/politicas/difusion/boletin/boletin3/analiasis_territorial.pdf
14. NIPPON KOEI Co., Ltd. Plan de Gestión de los recursos hídricos en las Cuencas Mashcón y Chonta con énfasis en el afianzamiento hídrico de las subcuencas Azufre, Paccha y río Grande de Chonta, Cajamarca, Perú. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Marzo 2010. [Fecha de acceso

- 07 de octubre de 2015]. Disponible en:
http://www.ana.gob.pe/media/296401/plan_gestion_recursos_hidricos_mashcon_chonta.pdf
15. Soto T, Julián V. Análisis de la diversidad genética de papa nativa (*Solanum* spp.) de los departamentos de Ayacucho, Cajamarca, Cuzco, Huancavelica y Puno – Perú, mediante el uso de marcadores moleculares micro satelitales. [Tesis para optar al Título Profesional de Biólogo con mención en Biología Celular y Genética]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Biológicas. 2006.
 16. National Center for Biotechnology Information (NCBI). [Sede Web]. USA; 2015. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Taxonomy. Disponible en:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/taxonomy>
 17. Egúsqiza B.R. La papa en el Perú. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 2da. Edición. 2014.
 18. Reyes M, Gómez-Sánchez I, Espinoza C, Bravo F, Ganoza L. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Instituto Nacional de Salud. 8° Edición. Lima. 2009: 58.
 19. Reyes M, Gómez-Sánchez I, Espinoza C. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Instituto Nacional de Salud. 9° Edición. Lima. 2013.
 20. Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. [Sede Web]. Lima; 2013. [Fecha de acceso 25 de setiembre de 2015]. PAPA: Principales aspectos agroeconómicos. Disponible en:
http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/2014/papa_2014.pdf
 21. Cadenas Productivas Agrícolas de Calidad-CAPAC PERÚ [Sede Web]. Lima; 2015. [Fecha de acceso 25 de setiembre de 2015]. Producción de papa en el Perú.
Disponible en: http://www.capacperu.org/dgpa/dgpa_03.htm
 22. Centro Internacional de la Papa. [Sede Web]. Lima 2015 [Fecha de acceso 25 de setiembre de 2015]. Papa. Disponible en:
<http://www.cipotato.org/potato-2/>

23. Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú. [Sede Web]. Mayo 2014. [Fecha de acceso 25 de setiembre de 2015]. Nota de prensa: Producción de papa creció 45%. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-papa-crecio-45-7582/>
24. Andina-Agencia Peruana de Noticias. [Sede Web]. Lima; 2013. [Fecha de acceso 25 de setiembre de 2015] Perú es el primer productor de papa en América Latina. Disponible en: <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-peru-es-primer-productor-papa-america-latina-459388.aspx>
25. Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú. [Sede Web]. Mayo 2014. [Fecha de acceso 25 de setiembre de 2015]. Nota de prensa: Producción de papa creció 45%. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-papa-crecio-45-7582/>
26. Municipalidad Provincial de Cajamarca. Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles en la Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Cajamarca. Cajamarca. Mayo 2009. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Disponible en: <http://sial.municaj.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=185>
27. Yanacocha. [Sede Web]. Lima; 2015. [Fecha de acceso 24 de marzo de 2015]. Quiénes somos. Disponible en: <http://www.yanacocha.com/quienes-somos/>
28. Sánchez SE, Ortiz HL. Escenarios ambientales y sociales de la minería a cielo abierto. Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos. 2014. [Fecha de acceso 25 de setiembre de 2015]; 20: 27-34. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4733822>
29. Municipalidad Provincial de Cajamarca. Inventario de Emisiones al aire por fuentes fijas-Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Cajamarca. Cajamarca. Octubre 2009. [Fecha de acceso 07 de octubre de 2015]. Disponible en: <http://sial.municaj.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=187>
30. Solano MA. Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc. [Memoria para optar por el grado de Doctora en Química]. Murcia: Universidad de Murcia. Facultad de Química. 2005.
31. Miranda D, Carranza C, Rojas C, Jerez C, Fischer G, Zurita J. Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas,

- regados con agua del río Bogotá. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 2008; 2(2): 180-191
32. Larenas B. Determinación de la concentración de metales pesados en agua, suelo y cultivos regados con agua de la Presa Manuel Ávila Camacho [Tesis para optar el grado de Maestría en Ciencias]. Puebla: Colegio de Postgraduados Campus Puebla. 2010.
 33. Durán C. Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana. [Tesis Doctoral]. España: Universidad de Barcelona. 2010.
 34. Herrera M. La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. Venesuelos. 2000 [Fecha de acceso 08 de octubre de 2015]; 8(2): 42-47.
 35. Martínez VR. Caracterización de parámetros fisiológicos y bioquímicos en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) variedad Albión, sometidas a diferentes concentraciones de Cadmio. [Tesis para optar el título de Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Fisiología de Cultivos]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. 2014.
 36. Rodríguez SM, Martínez N, Romero P, Del Rio L.A, Sandalio L.M. Toxicidad del Cadmio en Plantas. Ecosistema. Setiembre 2008; 17(3): 139-146.
 37. Corujo J, González A, Jiménez D, Regand A. Determinación de la adsorción de plomo en vegetales frescos. Revista del centro de investigación. 1993 [Fecha de acceso 08 de octubre de 2015]; 1(1): 41-47. Disponible en:
<http://ojs.dpi.ulsu.mx/index.php/rci/article/view/566/607>
 38. García V. Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de *Zea mays* L. expuestas a la toxicidad por plomo. [Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas]. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Ciencias. 2006.
 39. FAO/OMS. Codex Alimentarius. Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CODEX STAN 193-1995. Modificado en 2015; 40-46

40. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. [Sede Web]. España; 2015. [Fecha de acceso 30 de setiembre de 2015]. Problemática ambiental y contaminantes: Metales Pesados. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.aspx
41. Repetto M. Toxicología Avanzada. Madrid: Ediciones Díaz de Santos; 1995.
42. Camean A. Repetto M. Toxicología Alimentaria. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. 2012. p. 317-319.
43. Ramírez A. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Anales de la Facultad de Medicina UNMSM. 2002 [Fecha de acceso 29 de setiembre de 2015]; 63(1): 51-64. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/anales/article/view/1477/126>
44. Sarabia A. Toxicidad y acumulación de cadmio en poblaciones de diferentes especies de Artemia. [Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas]. Valencia: Universidad de Valencia. Facultad de Ciencias Biológicas. 2002.
45. MINISTERIO DE SALUD. Resolución Ministerial No. 757-2013 MINSA, por la que se aprueba la Guía técnica: Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Cadmio, que como anexo II forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial. Lima, 29 de noviembre del 2013.
46. Corey G, Galvao L. CADMIO, Serie de vigilancia 4. México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS/OMS; 1987.
47. Albiano N. Toxicología Laboral. Criterios para el monitoreo de la salud de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas. Argentina: SRT Superintendencia de Riesgos del Trabajo; 2011. p.34.
48. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. [Sede Web]. España; 2015. [Fecha de acceso 30 de setiembre de 2015]. CD (Cadmio y compuestos). Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Cd-Cadmio-y-compuestos,15605,11,2007.html>

49. Goodman & Gilman. Las bases farmacológicas de la terapéutica. 11^{ma} ed. México: Edit. Mac Graw Gill: 2007.p. 1767-1768.
50. Díaz DA. Concentración de cadmio en sangre en una población laboral hospitalaria y su relación con factores asociados [Memoria para optar al grado de Doctor]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Medicina. 2014.
51. Muñoz N. Determinación de plomo y cadmio en hierbas medicinales. [Tesina de grado]. Buenos Aires: Universidad de Belgrano. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Carrera de Farmacia. 2009.
52. Pinzón CC. Determinación de los niveles de plomo y cadmio en leche procesada en la ciudad de Bogotá D.C. [Tesis de Grado para optar el título de Magíster en Toxicología]. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología. 2015.
53. García M. Evaluación del riesgo por toxicidad crónica a la exposición de Cadmio en animales de experimentación. [Tesis para optar al grado académico de Doctor en Farmacia y Bioquímica]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y bioquímica. 2008.
54. Lozano HC. Estudio toxicológico de la contaminación por Cadmio y Arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua expuestas a la ceniza del Volcán Tungurahua en las parroquias Guanando y la Providencia del Cantón Guano provincia de Chimborazo. [Tesis para la obtención del título de Magister en Toxicología Industrial y Ambiental]. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. 2014.
55. Lorraine T, Dreisbach R. Manual de toxicología clínica de Dreisbach: prevención, diagnóstico y tratamiento. 7^a ed. México: Editorial El Manual Moderno S.A. de C.V; 2002. p. 230-232.
56. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) 2012 Toxicological Profile for Cadmium U.S. Department of health and human

services. Public Health Service. Disponible en:
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>



57. Mencías RE, Mayero FL. Manual de Toxicología Básica. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. 2000. p.630.
58. Organización Mundial de la Salud. [Sede Web]. Octubre 2014. [Fecha de acceso 05 de octubre de 2015]. Intoxicación por plomo y salud. Nota descriptiva N° 379. Disponible en:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>
59. Nava R, Méndez A. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). Archivos de Neurociencias. 2011; 16(3): 140-147.
60. Facultad de Química-Universidad Nacional Autónoma de México. [Sede Web] México. 2015 [Fecha de acceso 05 de octubre de 2015]. Hojas de seguridad. Disponible en: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/23plomo.pdf>
61. Córdova D. Toxicología. 5^{ta} ed. México: Editorial Manual Moderno; 2008.
62. Muñoz N. Determinación de plomo y cadmio en hierbas medicinales. [Tesis de grado]. Buenos Aires: Universidad de Belgrano. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Carrera de Farmacia. 2009.
63. Cámara Minera de México, International Lead Management Center, Industrias Peñoles, S.A. de C.V., Centro de Calidad Ambiental del Tecnológico de Monterrey. Manual para el Manejo Ambientalmente Responsable del Plomo. México: 1 de agosto del año 2006.
64. Valdivia I. Intoxicación por plomo. Rev. Soc. Per. Med. Inter. 2005; 18(1): 22-27.
65. Martínez B. Genotoxicidad inducida por exposición a plomo: daño al ADN y efectos sobre los mecanismos de reparación. [Tesis para optar el título de Química Farmacéutica Bióloga]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. 2009.
66. Saldivar OL, Tovar TA, Namihira GD. ECO. Introducción a la toxicología ambiental. Metepec, ECO, 1997.p.177-96.

67. Goodman & Gilman. Las bases farmacológicas de la terapéutica. 11^{ma} ed. México DF: Edit. Mac Graw Gill; 2007.p. 1754-1758.
68. Téllez M, Marlen B. Exposición ocupacional a plomo: aspectos toxicológicos. Avances en enfermería. 2005 [Fecha de acceso 06 de octubre de 2015]; 23 (1): 31-44. Disponible en:
<http://revistas.unal.edu.co/index.php/avenferm/article/view/37755/40057>
69. Huanri P. Determinación de plomo y arsénico en jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) por espectroscopia de absorción atómica en Lima Metropolitana. [Para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. 2014.
70. Fontana D. Lascano V, Solá N, Martínez S, Virgolini M, Mazzieri M. Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. Revista de Salud Pública. 2013. [Fecha de acceso 05 de octubre del 2013]; 1(17): 49-59. Disponible en:
http://www.saludpublica.fcm.unc.edu.ar/sites/default/files/RSP13_1_08_art5.pdf
71. Ministerio de Energía y Minas. Aprueba los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos para las actividades minero – metalúrgicas. Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM. 13 de enero de 1996.
72. Ministerio del Ambiente. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM. 25 de marzo de 2013.
73. Ministerio del Ambiente. Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Decreto Supremo 023-2009 – MINAM. 18 de diciembre del 2009.

74. Litter MI, Armienta MA, Farías SS. IBEROARSEN Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. Buenos Aires, Argentina: CYTED; 2009. p.79-92.
75. Martínez G, Palacio C. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de llama. [Trabajo de grado para optar el título de: Química]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. 2010.

ANEXOS

ANEXO 1: INFORME DE ENSAYO

| | | |
|---|--|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS |  |
|---|--|---|

INFORME DE ENSAYO N° 266-2015

Cliente : UNMSM-FACULTAD FARMACIA Y BIOQUÍMICA
Dirección : Av. Germán Amézaga 375 - Lima
Atención : Q.F. Tox. Jesús Lizano
alumnos: Luna Arenas, Ruth /Rodríguez Lozada, Víctor
Referencia USAQ : 178-01/40
Cotización : 217-224-225-226-227-228-2015/USAQ-FQIQ
Muestra : PAPA
Fecha de Recepción : 02/07/2015
Fecha de Emisión : 22/07/2015

RESULTADO DE ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

| No. de Muestra USAQ | CÓDIGO Y REFERENCIA DEL CLIENTE | DETERMINACIONES | RESULTADOS (ppb) |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| 178-01 | # 15 M | PLOMO CADMIO | N.D. 306.80 |
| 178-02 | # 2 M | PLOMO CADMIO | N.D. 306.40 |
| 178-03 | # 14 M | PLOMO CADMIO | N.D. 306.90 |
| 178-04 | # 1 M | PLOMO CADMIO | N.D. 307.90 |
| 178-05 | # 16 M | PLOMO CADMIO | N.D. 307.70 |
| 178-06 | # 19 M | PLOMO CADMIO | N.D. 306.40 |

Muestra Proporcionada por el Cliente.

IE-266-2015 UNMSM-FFB (Página 1 de 6)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



RESULTADO DE ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

| No. de Muestra USAQ | CÓDIGO Y REFERENCIA DEL CLIENTE | DETERMINACIONES | RESULTADOS (ppb) |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| 178-07 | # 5 M | PLOMO CADMIO | N.D. 305.90 |
| 178-08 | # 38 C | PLOMO CADMIO | N.D. 304.80 |
| 178-09 | # 17 M | PLOMO CADMIO | N.D. 307.10 |
| 178-10 | # 8 M | PLOMO CADMIO | N.D. 307.90 |
| 178-11 | # 11 M | PLOMO CADMIO | N.D. 318.50 |
| 178-12 | # 9 M | PLOMO CADMIO | N.D. 323.20 |
| 178-13 | # 25 C | PLOMO CADMIO | N.D. 320.01 |
| 178-14 | # 10 M | PLOMO CADMIO | N.D. 318.10 |

Muestra Proporcionada por el Cliente.

IE-266-2015 UNMSM-FFB (Página 2 de 6)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



RESULTADO DE ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

| No. de Muestra USAQ | CÓDIGO Y REFERENCIA DEL CLIENTE | DETERMINACIONES | RESULTADOS (ppb) |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| 178-15 | # 4 M | PLOMO CADMIO | N.D. 299.50 |
| 178-16 | # 18 M | PLOMO CADMIO | N.D. 297.10 |
| 178-17 | # 13 M | PLOMO CADMIO | N.D. 299.50 |
| 178-18 | # 35 C | PLOMO CADMIO | N.D. 300.20 |
| 178-19 | # 6 M | PLOMO CADMIO | N.D. 306.80 |
| 178-20 | # 37 C | PLOMO CADMIO | N.D. 304.90 |
| 178-21 | # 32 C | PLOMO CADMIO | N.D. 315.90 |
| 178-22 | # 39 C | PLOMO CADMIO | N.D. 315.90 |

Muestra Proporcionada por el Cliente.

IE-266-2015 UNMSM-FFB (Página 3 de 6)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



RESULTADO DE ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

| No. de Muestra USAQ | CÓDIGO Y REFERENCIA DEL CLIENTE | DETERMINACIONES | RESULTADOS (ppb) |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| 178-23 | # 28 C | PLOMO CADMIO | N.D. 218.20 |
| 178-24 | # 7 M | PLOMO CADMIO | N.D. 323.20 |
| 178-25 | # 34 C | PLOMO CADMIO | N.D. 322.20 |
| 178-26 | # 22 C | PLOMO CADMIO | N.D. 322.20 |
| 178-27 | # 33 C | PLOMO CADMIO | N.D. 303.90 |
| 178-28 | # 36 C | PLOMO CADMIO | N.D. 303.60 |
| 178-29 | # 31 C | PLOMO CADMIO | N.D. 308.50 |
| 178-30 | # 30 C | PLOMO CADMIO | N.D. 308.10 |

Muestra Proporcionada por el Cliente.

IE-266-2015 UNMSM-FFB (Página 4 de 6)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



RESULTADO DE ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

| No. de Muestra USAQ | CÓDIGO Y REFERENCIA DEL CLIENTE | DETERMINACIONES | RESULTADOS (ppb) |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| 178-31 | # 3 M | PLOMO CADMIO | N.D. 303.50 |
| 178-32 | # 29 C | PLOMO CADMIO | N.D. 303.50 |
| 178-33 | # 21 C | PLOMO CADMIO | N.D. 309.20 |
| 178-34 | # 40 C | PLOMO CADMIO | N.D. 319.60 |
| 178-35 | # 20 M | PLOMO CADMIO | N.D. 318.90 |
| 178-36 | # 12 M | PLOMO CADMIO | N.D. 319.10 |
| 178-37 | # 26 C | PLOMO CADMIO | N.D. 318.50 |
| 178-38 | # 24 C | PLOMO CADMIO | N.D. 318.10 |

Muestra Proporcionada por el Cliente.

IE-266-2015 UNMSM-FFB(Página 5 de 6)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



RESULTADO DE ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

| No. de Muestra USAQ | CÓDIGO Y REFERENCIA DEL CLIENTE | DETERMINACIONES | RESULTADOS (ppb) |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| 178-39 | # 23 C | PLOMO CADMIO | N.D. 320.01 |
| 178-40 | # 27 C | PLOMO CADMIO | N.D. 319.20 |

Muestra Proporcionada por el Cliente

N.D. : NO DETECTABLE

Límite de Detección Plomo: 0.5 ppb

Métodos: Determinación de Metales por Absorción Atómica – Horno de Grafito Metales GFAAS USAQ-ME-15

Quím. María Angélica Rodríguez Best
Directora de la USAQ
COP: 597

Nota: El presente Informe solamente es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada cualquier corrección, o enmienda en el mismo lo anula automáticamente.
Observ: La muestra podrá ser devuelta después del plazo de 15 días calendario de entregado el Informe de Ensayo, pasado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones.

IE-266-2015 UNMSM-FFB(Página 6 de 6)